



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERLAKUAN  
PANAS ANNEALING, QUENCHING MEDIA AIR  
DAN STRESS RELIEF TERHADAP KEKUATAN,  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO TUBE  
CONDENSER CP-TI GRADE 2**

**SAFIRA DINA NADILA  
NRP 2110 100 012**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**EXPERIMENTAL STUDY ON INFLUENCE OF  
HEAT TREATMENT ANNEALING , WATER  
QUENCHING AND STRESS RELIEF OF THE  
STRENGTH , HARDNESS AND MICROSTRUCTURE  
TUBE CONDENSER CP - Ti GRADE 2**

**SAFIRA DINA NADILA  
NRP 2110 100 012**

**Advisor  
Prof. Dr. Ir. WAJAN BERATA, DEA**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERLAKUAN  
PANAS ANNEALING, QUENCHING DENGAN MEDIA  
AIR DAN STRESS RELIEF TERHADAP KEKUATAN,  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO TUBE  
CONDENSER CP-Ti GRADE 2**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SAFIRA DINA NADILA**

Nrp. 2110 100 012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 
1. Prof.Dr.Ir Wajan Berata, DEA ..... (Pembimbing)
  2. Indra Sidharta, ST, MSc ..... (Penguji I)
  3. Wahyu Wijanarko, ST, MSc ..... (Penguji II)
  4. Ika Dewi Wijayanti, ST, MSc ..... (Penguji III)

**SURABAYA  
JANUARI 2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH  
PERLAKUAN PANAS ANNEALING, QUENCHING  
DENGAN MEDIA AIR DAN STRESS RELIEF  
TERHADAP KEKUATAN, KEKERASAN DAN  
STRUKTUR MIKRO TUBE CONDENSER CP-Ti  
GRADE 2**

**Nama Mahasiswa : Safira Dina Nadila**

**NRP : 2110 100 012**

**Jurusan : Teknik Mesin**

**Pembimbing: Prof. Dr. Wajan Berata, DEA**

***Abstrak***

*Commercial Pure Titanium Grade 2 (CP-Ti) digunakan sebagai tube condenser PLTU Paiton. CP Ti Grade 2 dipilih sebagai tube condenser karena memiliki keunggulan pada kombinasi sifat mekanik seperti massa jenis yang lebih rendah, kekuatan yang lebih baik, tahan korosi yang sangat baik, weldability yang sangat baik serta machinability yang baik. Saat proses pemakaian terjadi kegagalan sebelum umur pakai. Kegagalan diakibatkan oleh abrasi deposit, mechanical damage, dan ukuran butir yang tidak homogen akibat proses kondensasi pada kondensor. Oleh karena itu tube condenser bekas yang ingin diketahui apakah tube condenser tersebut dapat berubah kekuatan dan kekerasannya dengan mengubah struktur mikro dari perlakuan panas dengan variasi perlakuan panas, yaitu Annealing, Quenching media air dan Quenching media air dengan penambahan Stress Relief.*

*Pada perlakuan panas CP-Ti Grade 2, mula-mula 3 spesimen dipanaskan hingga temperatur 950°C, ditahan selama 15 menit dan didinginkan di dalam dapur (Annealing). Untuk 3 spesimen lainnya dipanaskan hingga temperatur 950°C, ditahan*

*selama 15 menit kemudian didinginkan dengan metode quenching dengan air. Tiga spesimen lainnya dipanaskan hingga temperature 950 °C kemudian diquenching dengan air lalu dipanaskan kembali hingga temperatur 520°C ditahan 30 menit, material tersebut didinginkan di luar dapur. Semua spesimen tersebut akan diuji struktur mikro, XRD, uji tarik dan uji kekerasan.*

*Hasil yang didapatkan pada perlakuan annealing yaitu perubahan struktur mikro dari alpha menjadi alpha lamellar dan coarse alpha dengan nilai kekerasan rata rata 274.98 HVN dan nilai UTS 298.94 MPa. Perlakuan Quenching media air didapatkan perubahan struktur mikro menjadi alpha lamellar, coarse Alpha dan Beta dengan nilai kekerasan rata rata 255.99 HVN dan nilai UTS rata rata 357.74 MPa. Perlakuan Quenching lalu stress Relief didapatkan perubahan struktur mikro menjadi fine alpha lamellar, coarse Alpha dan Beta dengan nilai kekerasan rata rata 268.33HVNdand nilai UTS rata rata 332.68 MPa.*

***Keyword: Tube Condenser, CP-Ti Grade 2, Alpha, Perlakuan Panas, Alpha Lamellar.***

# **EXPERIMENTAL STUDY ON INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ANNEALING , WATER QUENCHING AND STRESS RELIEF OF THE STRENGTH , HARDNESS AND MICROSTRUCTURE TUBE CONDENSER CP - Ti GRADE 2**

**Nama Mahasiswa : Safira Dina Nadila**

**NRP : 2110 100 012**

**Departement : Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Wajan Berata, DEA**

## ***Abstract***

Commercial Pure Titanium Grade 2 (CP-Ti) is used as a tube condenser PLTU Paiton. CP Ti Grade 2 is selected as a condenser tube as it has advantages on a combination of mechanical properties like lower density, a better strength, excellent corrosion resistant, excellent weldability and good machinability. During the process of discharging failure occurred before age wear. Failure caused by abrasion, mechanical damage deposit, and grain size which is not homogeneous due to condensation on the condenser. Therefore a condenser tube used to known whether such a condenser tube may change the power and violence by changing the microstructure of heat treatment with the variation of heat treatment, i.e., Annealing, Water Quenching and Water Quenching with the addition of Stress Relief.

In the heat treatment of CP - Ti Grade 2 , Three specimens initially heated to a temperature of 950°C , hold for 15 minutes and cooling in the furnace ( Annealing ) . For three other specimens heated to a temperature of 950°C , was detained for 15 minutes and then cooled by water quenching method . Three other specimens were heated to temperatures of 950 ° C then water quenching and reheated to a temperature of 520°C on hold 30 minutes , the material is cooled outside furnace. All specimens will be tested microstructure , XRD , tensile strength and hardness test .

Results obtained on annealing treatment that changes the microstructure of the alpha to alpha and coarse lamellar alpha with an average hardness value of 274.98 HVN and 298.94 MPa UTS value . Quenching water treatment media obtained changes to alpha lamellar microstructure , coarse Alpha and Beta with an average hardness value 255.99 HVN and the average value of UTS 357.74 MPa. Quenching treatment and stress relief obtained microstructure changes into fine lamellar alpha , Alpha and Beta coarse with an average hardness value 268.33 HVN dan average value of UTS 332.68 MPa .

***Keyword: Tube Condenser, CP-Ti Grade 2, Alpha, Heat Treatment, Alpha Lamellar.***

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH  
PERLAKUAN PANAS ANNEALING, QUENCHING  
DENGAN MEDIA AIR DAN STRESS RELIEF  
TERHADAP KEKUATAN, KEKERASAN DAN  
STRUKTUR MIKRO TUBE CONDENSER CP-Ti  
GRADE 2**

**Nama Mahasiswa : Safira Dina Nadila**

**NRP : 2110 100 012**

**Jurusan : Teknik Mesin**

**Pembimbing: Prof. Dr. Wajan Berata, DEA**

***Abstrak***

*Commercial Pure Titanium Grade 2 (CP-Ti) digunakan sebagai tube condenser PLTU Paiton. CP Ti Grade 2 dipilih sebagai tube condenser karena memiliki keunggulan pada kombinasi sifat mekanik seperti massa jenis yang lebih rendah, kekuatan yang lebih baik, tahan korosi yang sangat baik, weldability yang sangat baik serta machinability yang baik. Saat proses pemakaian terjadi kegagalan sebelum umur pakai. Kegagalan diakibatkan oleh abrasi deposit, mechanical damage, dan ukuran butir yang tidak homogen akibat proses kondensasi pada kondensor. Oleh karena itu tube condenser bekas yang ingin diketahui apakah tube condenser tersebut dapat berubah kekuatan dan kekerasannya dengan mengubah struktur mikro dari perlakuan panas dengan variasi perlakuan panas, yaitu Annealing, Quenching media air dan Quenching media air dengan penambahan Stress Relief.*

*Pada perlakuan panas CP-Ti Grade 2, mula-mula 3 spesimen dipanaskan hingga temperatur 950°C, ditahan selama 15 menit dan didinginkan di dalam dapur (Annealing). Untuk 3 spesimen lainnya dipanaskan hingga temperatur 950°C, ditahan*



*selama 15 menit kemudian didinginkan dengan metode quenching dengan air. Tiga spesimen lainnya dipanaskan hingga temperature 950 °C kemudian diquenching dengan air lalu dipanaskan kembali hingga temperatur 520°C ditahan 30 menit, material tersebut didinginkan di luar dapur. Semua spesimen tersebut akan diuji struktur mikro, XRD, uji tarik dan uji kekerasan.*

*Hasil yang didapatkan pada perlakuan annealing yaitu perubahan struktur mikro dari alpha menjadi alpha lamellar dan coarse alpha dengan nilai kekerasan rata rata 274.98 HVN dan nilai UTS 298.94 MPa. Perlakuan Quenching media air didapatkan perubahan struktur mikro menjadi alpha lamellar, coarse Alpha dan Beta dengan nilai kekerasan rata rata 255.99 HVN dan nilai UTS rata rata 357.74 MPa. Perlakuan Quenching lalu stress Relief didapatkan perubahan struktur mikro menjadi fine alpha lamellar, coarse Alpha dan Beta dengan nilai kekerasan rata rata 268.33HVNdand nilai UTS rata rata 332.68 MPa.*

***Keyword: Tube Condenser, CP-Ti Grade 2, Alpha, Perlakuan Panas, Alpha Lamellar.***

# **EXPERIMENTAL STUDY ON INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ANNEALING , WATER QUENCHING AND STRESS RELIEF OF THE STRENGTH , HARDNESS AND MICROSTRUCTURE TUBE CONDENSER CP - Ti GRADE 2**

**Nama Mahasiswa : Safira Dina Nadila**

**NRP : 2110 100 012**

**Departement : Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Wajan Berata, DEA**

## ***Abstract***

Commercial Pure Titanium Grade 2 (CP-Ti) is used as a tube condenser PLTU Paiton. CP Ti Grade 2 is selected as a condenser tube as it has advantages on a combination of mechanical properties like lower density, a better strength, excellent corrosion resistant, excellent weldability and good machinability. During the process of discharging failure occurred before age wear. Failure caused by abrasion, mechanical damage deposit, and grain size which is not homogeneous due to condensation on the condenser. Therefore a condenser tube used to known whether such a condenser tube may change the power and violence by changing the microstructure of heat treatment with the variation of heat treatment, i.e., Annealing, Water Quenching and Water Quenching with the addition of Stress Relief.

In the heat treatment of CP - Ti Grade 2 , Three specimens initially heated to a temperature of 950°C , hold for 15 minutes and cooling in the furnace ( Annealing ) . For three other specimens heated to a temperature of 950°C , was detained for 15 minutes and then cooled by water quenching method . Three other specimens were heated to temperatures of 950 ° C then water quenching and reheated to a temperature of 520°C on hold 30 minutes , the material is cooled outside furnace. All specimens will be tested microstructure , XRD , tensile strength and hardness test .

Results obtained on annealing treatment that changes the microstructure of the alpha to alpha and coarse lamellar alpha with an average hardness value of 274.98 HVN and 298.94 MPa UTS value . Quenching water treatment media obtained changes to alpha lamellar microstructure , coarse Alpha and Beta with an average hardness value 255.99 HVN and the average value of UTS 357.74 MPa. Quenching treatment and stress relief obtained microstructure changes into fine lamellar alpha , Alpha and Beta coarse with an average hardness value 268.33 HVN dan average value of UTS 332.68 MPa .

***Keyword: Tube Condenser, CP-Ti Grade 2, Alpha, Heat Treatment, Alpha Lamellar.***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena hanya dengan bimbingan, petunjuk, dan kasih sayang-Nya akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

### **“STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING, QUENCHING DENGAN MEDIA AIR DAN STRESS RELIEF TERHADAP KEKUATAN, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO TUBE CONDENSER CP-Ti GRADE 2”**

Penulis berharap dari tugas akhir ini dapat diambil suatu manfaat, meskipun masih banyak kekurangan pada pembuatan tugas akhir ini.

Akhirnya pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada orang-orang di sekitar penulis yang secara langsung maupun tidak langsung ikut terlibat dalam penulisan tugas akhir ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Ummi dan Abi** penulis (**Aulah dan Ismail**) terima kasih telah banyak berkorban untuk penulis hingga penulis menjadi seperti sekarang ini. Serta adikku dan kembaranku (**Bukhori dan Akbar**) yang telah memberi semangat dalam pengerjaan TA ini.
2. Bapak selaku dosen pembimbing. Bapak **Dr.Ir.Soeharto DEA**, Bapak **Wahyu Wijanarko ST, M.Sc**, **Indra Sidharta ST, M.Sc** dan **Bapak Putu Suwarta ST M.Sc** selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak kritik dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

3. Teman teman barisan **Lab Metalurgi**, khususnya teman seperjuangan Tugas akhir, Zahrah, Esthi, Dewangga, Faisal, Buditha, Bilal, Rio, Eli dan Upil terimakasih atas kerjasamanya selama ini.
4. Semua teman – teman yang ada di Jurusan Teknik Mesin, khususnya M-53 , terima kasih banyak.
5. Sahabatku yang sedang koas (Rifa dan Nirwan), terima kasih selalu memberi semangat dan doa ditengah kesibukan kalian.
6. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Kritik dan saran penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
TITLE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	7
1.3 Batasan Masalah.....	7
1.4 Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1 Tinjauan Pustaka .....	9
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Titanium .....	10
2.2.1.1 Sistem Fasa Titanium .....	12
2.2.1.2 Diagram Fasa pada Titanium.....	13
2.2.2 Klasifikasi Titanium .....	15

2.2.2.1 Titanium Murni .....	15
2.2.2.2 Paduan Titanium.....	16
2.2.3 Struktur Mikro pada Titanium.....	18
2.2.3.1 Pure Titanium (Commerical Pure Titanium) .....	18
2.2. 3.2 Paduan $\alpha$ .....	18
2.2. 3.3 Paduan $\beta$ .....	18
2.2.3.4 Paduan ( $\alpha + \beta$ ) .....	19
2.2.2 Comersial Pure Titanium (CP-Ti) Grade 2.....	20
2.2.2.1 Pengaruh Struktur Mikro terhadap Physical Properties dan Mechanical Properties .....	23
2.2.2.2 Pipa Kondensor CP Ti Grade 2 .....	24
2.2.3 Heat treatment Beta Annealing Pada Titanium Grade 2 ...	25
2.2.4 XRD pada Titanium .....	27
BAB 3 .....	31
METODOLOGI PENELITIAN .....	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Material .....	32
3.2.1 Material yang Digunakan .....	32
3.2.2 Bentuk spesimen uji .....	32
3.3 Langkah – Langkah Percobaan .....	34
3.3.1 Spesifikasi Spesimen .....	34
3.3.2 Pengamatan Metalography .....	34
3.3.3 Pengujian Tarik .....	35
3.3.4 Pengujian Kekerasan .....	35

3.3.5 Perlakuan Panas ( Heat Treatment ) .....	36
3.3.6 Pengujian XRD.....	38
3.4 Peralatan yang Digunakan.....	38
3.4.1 Peralatan Uji Komposisi Kimia.....	38
3.4.2 Peralatan Grinding dan Polishing.....	39
3.4.3 Peralatan Pengujian Etsa (Etching) .....	39
3.4.4 Peralatan Pengamatan Struktur Mikro.....	40
3.4.5 Pengujian Microhardness .....	41
3.4.6 Mesin Uji Tarik .....	42
3.4.7 Dapur Pemanas.....	42
3.4.7 Mesin XRD.....	43
3.5 Perencanaan Eksperimen.....	44
BAB 4.....	47
DATA HASIL PENELITIAN.....	47
4.1 Struktur Mikro Setelah Perlakuan .....	48
4.2 Pengaruh kekerasan terhadap perlakuan .....	51
4.3 Pengaruh kekuatan terhadap perlakuan .....	53
4.4 X-Ray Diffraction setelah Perlakuan (XRD).....	54
4.5 Hasil Scanning Electron Microscope (SEM) .....	57
4.6 Hasil Foto Makro Pola Patahan.....	58
BAB 5 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	61
5.1 Pengaruh Variasi Perlakuan terhadap Struktur Mikro.....	61
5.2 Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Kekuatan.....	64
5.3 Pengaruh variasi perlakuan panas terhadap kekerasan.....	66



5.4 Pengaruh variasi perlakuan panas terhadap hasil XRD.....	68
5.5 Pengaruh variasi perlakuan panas terhadap pola patahan.	69
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
6.1 Kesimpulan .....	71
6.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	75

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia dan UTS CP-Ti. [1].....	16
Tabel 2.2 Physical Properties CP-Ti Grade 2.....	21
Tabel 2.3 Mechanical properties CP-Ti Grade 2.....	21
Tabel 2.4 Data Operasional Pipa Kondensor pada Pembangkit Listrik.....	24
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Pipa Kondensor CP-Ti.....	25
Tabel 2.6 Laku Stress Relief pada Titanium dan paduannya [2].....	26
Tabel 4.1 Data hasil pengujian sifat mekanik CP-Ti Grade 2.....	57
Tabel 4.2 Struktur Mikro dan Perlakuan.....	61
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan.....	62
Tabel 4.4 Nilai UTS dengan variasi Perlakuan.....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema proses PLTU Paiton [6].....	2
Gambar 1.2 Konstruksi Kondensor.....	3
Gambar 1.3 Tube Condenser (Pipa Kondensor)[5].....	3
Gambar 1.4 a. Pipa sobek diujung b. Pipa sobek ditengah c. Cacat dari gambar b difoto mikro dari arah penebalan.....	5
Gambar 1.5 Penampang arah permukaan dalam menunjukkan adanya abrasi dan deposit ( kotak merah) serta abrasi, deformasi dan deposit (kotak hijau).....	6
Gambar 1.6 Gambar struktur mikro Titanium Tube Condenser PLTU Paiton.....	6
Gambar 2.1 Gambar Struktur Kristal.....	11
Gambar 2.2 Skema Penambahan Paduan yang mempengaruhi fasa [2].....	12
Gambar 2.3 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Cromium[1].....	13
Gambar 2.4 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Molybdenum [1].....	14
Gambar 2.5 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Hidrogen [1].....	14
Gambar 2.6 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Alumunium [1].....	15
Gambar 2.7 Gambar struktur mikro paduan ( $\alpha$ + $\beta$ ). a. Fully Lamellar Microstructure, (b) duplex mikrostruktura, (c) fully equiaxed microstructure, (d) mill annealed microstructure.[3]...	20
Gambar 2.8 Stuktur Mikro CP-Ti Grade 2 [3].....	23

Gambar 2.9 Foto Mikro CP-Ti Grade 2 setelah ditarik [3].....	24
Gambar 2.10 Diagram Fasa Ti-Al dengan Cooling Curve .....	27
Gambar 2.11 Pola XRD pada Fasa Alpha Ti-6Al-4V [9].....	28
Gambar 3.1 Flowchart Percobaan.....	32
Gambar 3.2 Bentuk spesimen uji tarik jis z 2201 dalam satuan milimeter.....	33
Gambar 3.3 Bentuk spesimen uji kekerasan dalam satuan milimeter.....	34
Gambar 3.4 Bentuk spesimen uji metallography dalam satuan millimeter.....	34
Gambar 3.5 Bentuk spesimen uji XRD dalam satuan millimeter.....	35
Gambar 3.6 Kurva pendinginan dengan variasi pendinginan di dalam dapur.....	38
Gambar 3.7 Kurva pendinginan dengan di-quench dengan media air.....	39
Gambar 3.8 Kurva pendinginan dengan di-quench dengan media air kemudian diberi stress relief. ....	39
Gambar 3.9 Mesin SEM-EDX.....	40
Gambar 3.10 Mesin grinding / Polishing.....	41
Gambar 3.11 Gambar Perlatan Pengujian Etsa.....	41
Gambar 3.12 Peralatan pengamatan struktur mikro.....	42
Gambar 3.13 Mesin uji kekerasan microhardness.....	43
Gambar 3.14 Mesin uji tarik.....	44
Gambar 3.15 Dapur pemanas.....	45
Gambar 3.16 Mesin XRD.....	45

Gambar 4.1 Struktur mikro awal CP-Ti Grade 2 perbesaran 500x.....	58
Gambar 4.2 Struktur Mikro CP-Ti Grade 2 dengan perlakuan Annealing (a. perbesaran 100x dan b. perbesaran 500x) .....	59
Gambar 4.3 Struktur Mikro CP-Ti Grade 2 dengan perlakuan Quenching media air (a. perbesaran 100x dan b. perbesaran 500x).....	59
Gambar 4.4 Struktur Mikro CP-Ti Grade 2 dengan nama sampel A53 perlakuan Quenching media air kemudian Stress Relief (a. perbesaran 100x dan b. perbesaran 500x).....	60
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan nilai HVN terhadap titik dengan variasi perlakuan.....	63
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan nilai UTS rata rata terhadap variasi perlakuan.....	64
Gambar 4.7 Hasil XRD Titanium setelah Perlakuan Annealing.....	65
Gambar 4.8 Hasil XRD Titanium setelah Perlakuan Quenching.....	66
Gambar 4.9 Hasil XRD Titanium setelah Perlakuan Quenching dan Stress Relief.....	66
Gambar 4.10 Hasil SEM CP-Ti Grade 2.....	67
Gambar 4.11 Foto spesimen dengan perlakuan Annealing setelah uji tarik.....	68
Gambar 4.12 Foto specimen dengan perlakuan Quenching setelah uji tarik.....	69
Gambar 4.13 Foto specimen dengan perlakuan Quenching dan stress Relief setelah uji tarik.....	70
Gambar 5.1 Cacat dalam dan arah tegangan yang terjadi.....	67
Gambar 5.2 Alpha Case yang terdapat pada CP-Ti Grade 2.....	68

Gambar 5.3 Foto indentasi microhardness pada CP-Ti Grade 2..69

Gambar 5.4 Bentuk pola patahan pada material akibat uji tarik[12].....71

# BAB I

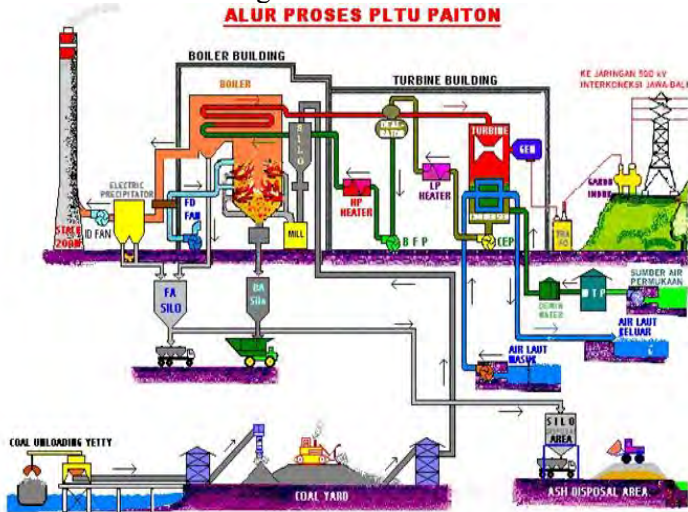
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam system kerja PLTU di Paiton memiliki komponen penting yaitu boiler, turbin uap, generator, kondensor, dan pompa. System kerja PLTU dimulai dengan air dipompa dari tekanan P2 menjadi P1, langkah ini adalah langkah kompresi isentropis, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi. Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di *LP heater*, *HP heater* dan *Economiser*, air berubah wujud menjadi uap jenuh, langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses isobar isothermis, terjadi di boiler yaitu di *wall tube (riser)* dan *steam drum*. Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*), langkah ini terjadi di *superheater boiler* dengan proses isobar. Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun, langkah ini adalah langkah ekspansi isentropis dan terjadi didalam turbin. Pembuangan panas laten uap berubah menjadi air kondensat, langkah ini adalah isobar isothermis dan terjadi didalam kondensor. Pada PJB Paiton terjadi penurunan efisiensi akibat penurunan tekanan yang terjadi di area kondensor secara drastis. Yang diakibatkan oleh kebocoran pada tube kondensor.

Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Prinsip kerja Kondensor proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (tubes). Uap mengalir di luar pipa-pipa (shell side) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (tube side). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe surface (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam

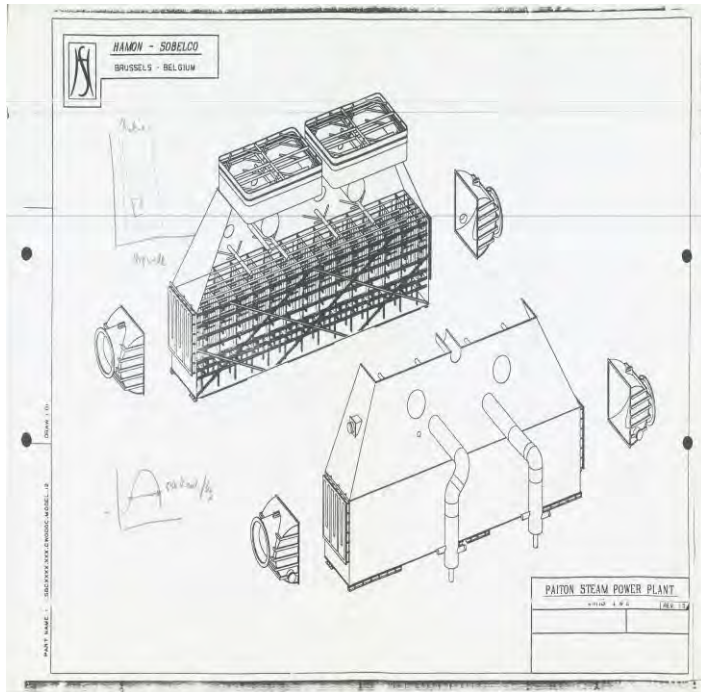
perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi.



Gambar 1.1 Skema proses PLTU Paiton [6]

Tube kondensor terbuat dari *Commercial Pure Titanium* (CP-Ti) Grade 2 dimana memiliki koresistensian yang tinggi terhadap korosi dengan ketangguhan yang sangat baik. Saat pengoperasian pada system terjadinya penurunan efisiensi akibat kenaikan tekanan pada kondensor. Kondensor diinspeksi dan disimpulkan terdapat beberapa *tube condenser* yang bocor, terlihat dari adanya sobekan juga dekakan yang terdapat pada *tube condenser*.





Gambar 1.2 Konstruksi Kondensor

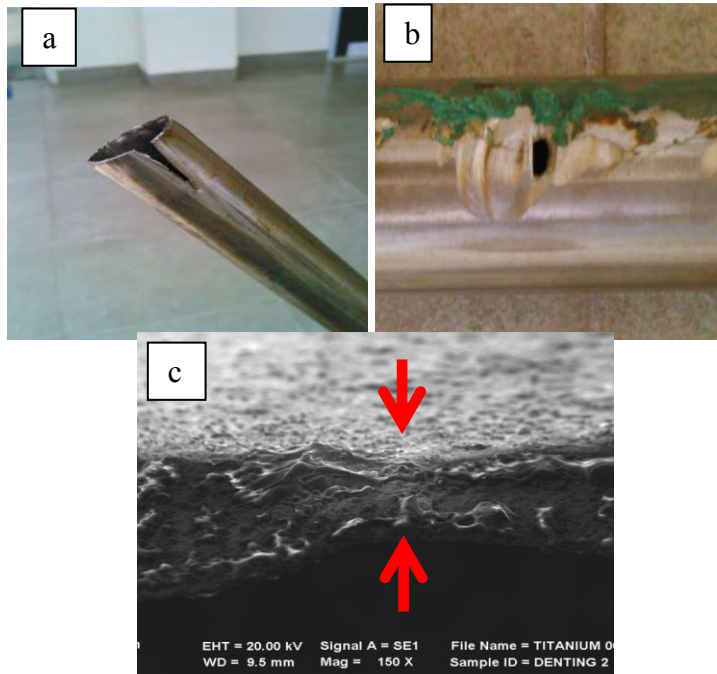


Gambar 1.3 Tube Condenser (Pipa Kondensor)[5]

Kerusakan pada kondensor bervariasi tergantung dari berbagai faktor antara lain kesalahan operasi, kondisi lingkungan, umur dan material. Dari hasil survey data perawatan ada dua lokasi utama kebocoran pada pipa/*tube* yaitu:

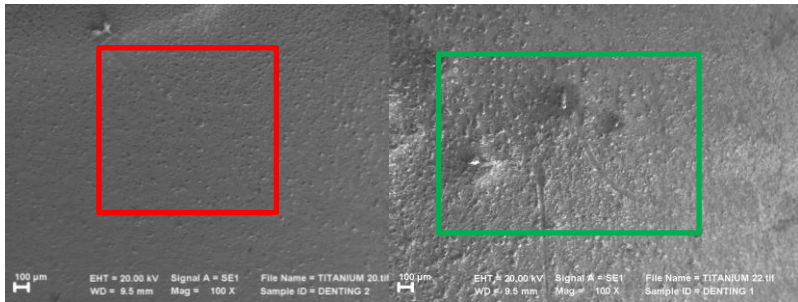
- Pada daerah *tube sheet joint*
- Pada daerah sepanjang pipa/*tube*

Dari hasil survei dan pengujian SEM untuk material Titanium penyebab utama kebocoran pipa/*tube* lebih diakibatkan oleh *mechanical damage* seperti halnya *impact*. *Impact* terjadi akibat sedimen yang terbawa oleh air laut menumbuk permukaan pipa. Sedangkan dari hasil pengujian *Eddy Current* cukup banyak pipa/*tube* yang mengalami retak. Retak terjadi akibat vibrasi pada pipa atau pemegang pipa/*tube* yang terjadi terus menerus sehingga menimbulkan defleksi pada pipa. Vibrasi pada pipa timbul akibat adanya aliran fluida yang melewati jajaran pipa dengan kecepatan yang menimbulkan vortex, atau lebih umum disebut *Vortex Induced Vibration* atau *Flow-Induced Vibration* (FIV). Tim ahli ITS melakukan uji *fatigue* dan menyatakan bahwa *tube condenser* aman terhadap beban *cyclic* dan *fatigue*. Sifat fisik yang berubah pada pipa kondensor terlihat dengan adanya sedimen pada pipa, cacat berupa sobek di ujung pipa, cacat berupa lekukan di tengah pipa, serta abrasi dan deposit pada permukaan pipa. Sifat mekanik pipa berubah dimana adanya penurunan kekuatan



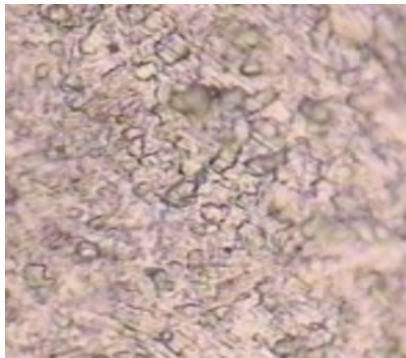
Gambar 1.4 a. Pipa sobek diujung b. Pipa sobek ditengah c. Cacat dari gambar b difoto mikro dari arah penebalan.

Dari gambar a terlihat pipa sobek dan berdeformasi plastis, disebabkan karena material pipa tidak mampu menahan beban di tumpuan. Pada gambar b yang diperjelas dengan dipotong dan difoto mikro dari arah penebalan di gambar c, terjadi cacat berupa sobek di tengah pipa akibat beban impact yang terjadi, diperkirakan karena adanya komponen dari turbin (serpihan turbin) yang lepas dan jatuh mengenai pipa kondensor, juga bisa diakibatkan *human error* saat pembersihan *fouling* pada pipa.



Gambar 1.5 Penampang arah permukaan dalam menunjukkan adanya abrasi dan deposit (kotak merah) serta abrasi, deformasi dan deposit (kotak hijau)

Dari gambar diatas terlihat adanya abrasi dan deposit akibat sedimen dari air laut yang terbawa, deformasi yang terjadi pada permukaan pipa akibat beban *impact* oleh sedimen juga kotoran lain yang terbawa aliran air laut yang *vortex*, dan deformasi akibat *impact* ini terjadi sepanjang pipa, deformasi ini bisa memungkinkan terjadi sobek apabila sedimen maupun serpihan yang terbawa air laut lebih besar dengan aliran *vortex* yang sangat tinggi



Gambar 1.6 Gambar struktur mikro *Titanium Tube Condenser PLTU Paiton*

Pada gambar 1.6 terlihat bahwa butir-butir kristal yang terbentuk memiliki ukuran yang berbeda (tidak homogen), ukuran butir yang berbeda mengakibatkan inisiasi terjadi retak semakin besar, sehingga pada saat pembebanan material lebih mudah retak jika dibandingkan material yang memiliki butir kristal homogen. Sifat mekanik dapat dinaikan dengan bermacam cara, yaitu berupa kumis kucing, memperkecil butir, perlakuan panas, penambahan paduan dan deformasi plastis. Pada penelitian ini material pipa CP-Ti *Grade 2* akan dilihat bagaimana perubahan sifat mekaniknya dengan cara perlakuan panas, dimana akan dipanaskan hingga temperatur fasa beta dengan variasi annealing, *quenching* dengan media air dan *quenching* dengan media air kemudian ditambahkan stress relief.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pada analisa kegagalan ini yang menjadi permasalahan pokok:

1. Bagaimana pengaruh annealing terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dengan uji kekerasan dan tarik Tube Condenser CP-Ti *Grade 2*.
2. Bagaimana pengaruh perlakuan panas dengan pendinginan *quenching* dengan media air terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dengan uji kekerasan dan tarik Tube Condenser CP-Ti *Grade 2*.
3. Bagaimana pengaruh perlakuan panas dengan pendinginan *quenching* dengan media air dengan penambahan stress relief terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dengan uji kekerasan dan tarik Tube Condenser CP-Ti *Grade 2*.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar masalah yang muncul dapat diselesaikan dengan baik dan pembahasan ini tidak meluas serta mencapai tujuan yang telah ditentukan, maka diperlukan batasan-batasan dan asumsi penelitian yaitu:

1. Kondisi peralatan pengujian dilakukan di anggap telah sesuai dan sudah terkalibrasi dengan baik.
2. Temperature konstan sesuai dengan variable yang ditentukan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berikut merupakan Tujuan dari studi kasus ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh annealing terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dengan uji kekerasan dan tarik Tube Condenser CP-Ti Grade 2.
2. Mengetahui pengaruh perlakuan panas dengan pendinginan *quenching* dengan media air terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dengan uji kekerasan dan tarik Tube Condenser CP-Ti Grade 2.
3. Mengetahui pengaruh perlakuan panas dengan pendinginan *quenching* dengan media air dengan penambahan stress relief terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dengan uji kekerasan dan tarik Tube Condenser CP-Ti Grade 2.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih bagi dunia ilmu pengetahuan, yaitu:

1. Bagi dunia industri penghasil energi, dengan adanya analisa transformasi fasa ini, diharapkan dapat dijadikan acuan atau pertimbangan dalam perawatan dan perbaikan untuk kerusakan yang serupa.
2. Bagi kalangan akademis khususnya mahasiswa, dengan adanya studi analisa transformasi fasa ini diharapkan mampu mengaplikasikan dan memahami ilmu yang telah didapat untuk memecahkan masalah kegagalan pada komponen tersebut.

#### 2.2.3.4 Paduan ( $\alpha + \beta$ )

Pada  $\alpha + \beta$  alloy terdapat tiga perbedaan tipe mikrostruktur yang dapat diperoleh dengan mengubah rute proses termomekanikal, yaitu:

a. Fully Lamellar Microstructure

Fully lamellar mikrostruktur terbentuk setelah pendinginan lambat saat berdeformasi dan diberi perlakuan panas dibawah temperature fasa tunggal beta ( $T_\beta$ ), dimana ( $\alpha + \beta$ ) menjadi  $\beta$ , dengan sistem kristal hcp pada  $\alpha$  lamellar dan bcc pada butir  $\beta$ . Fully Lamellar Microstructure memiliki karakteristik *tensile ductility* rendah, *fatigue properties* sedang, tahan *creep* yang baik dan perambatan retak yang baik.[6]

b. Bi-modal (Duplex) Microstructure.

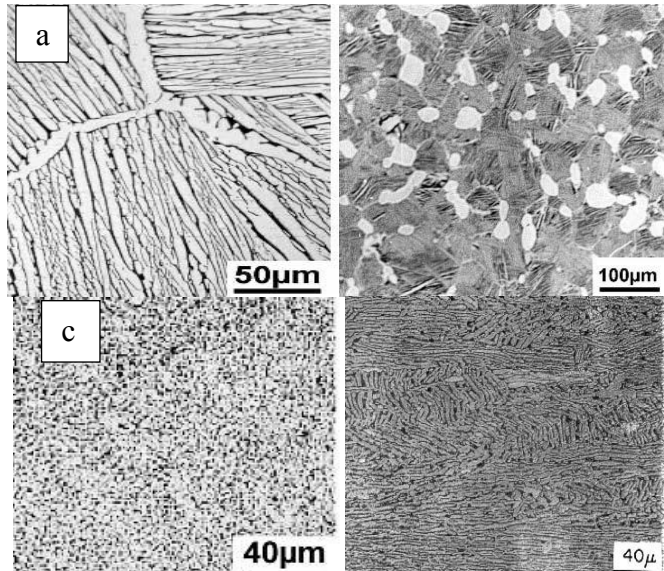
Bimodal mikrostruktur terdiri dari butir  $\alpha$  dan fine lamellar  $\alpha$  dengan butir  $\beta$  yang sedikit. Mikrostruktur ini memiliki kekuatan dan keuletan yang sangat baik pada temperature kamar.

c. Fully Equiaxed Microstructure

Fully equiaxed terbentuk setelah deformasi dari dua fasa ( $\alpha + \beta$ ) dimana terdiri dari globular fasa  $\alpha$  dengan matriks  $\beta$  yang memiliki kristalografi hcp. Mikrostruktur ini memiliki kekuatan dan keuletan yang baik pada temperature kamar dan *fatigue properties* yang baik.[6]

d. Mill-annealed Microstructure

Proses pembuatan *Mill-annealed microstructure* tidak melibatkan rekristalisasi. Sehingga, proses deformasi menentukan detail mikrostruktur.



Gambar 2.1 Gambar strukturmikro paduan ( $\alpha + \beta$ ). a . Fully Lamellar Microstructure, (b) duplex microstruktire, (c) fully equiaxed microstructure, (d) mill annealed microstructure.[6]

### 2.2.2 Comersial Pure Titanium (CP-Ti) Grade 2

Comersial Pure Titanium ( CP-Ti ) merupakan fasa alpha. Dimana semua fasa alpha dibentuk suhu rendah, allotropi heksagonal titanium. Komersial Pure Titanium Grade 2 biasa digunakan pada pipa kondensor, heat exchanger, komponen airframe, dan komponen CPI. CP-Ti Grade 2 memiliki sifat tahan korosi yang sangat baik serta *formability* dan *weldability* yang baik. CP-Ti Grade 2 bisa diklasifikasikan pada fasa  $\alpha$ ,  $\beta$  dan ( $\alpha + \beta$ ) bergantung pada temperature. Saat di temperature kamar CP-Ti Grade 2 stabil pada hcp fasa  $\alpha$ , dan bila dipanaskan hingga suhu diatas 882°C maka stabil pada bcc fasa  $\beta$ .



Tabel 2.1 Physical Properties CP-Ti Grade 2

<b>Physical Properties</b>	
Density (lbs/in <sup>3</sup> )	0.163
Elastic Modulus (x10 <sup>6</sup> psi)	14.9
Beta Transus Temp (oF)	1675
Weldability	Excellent

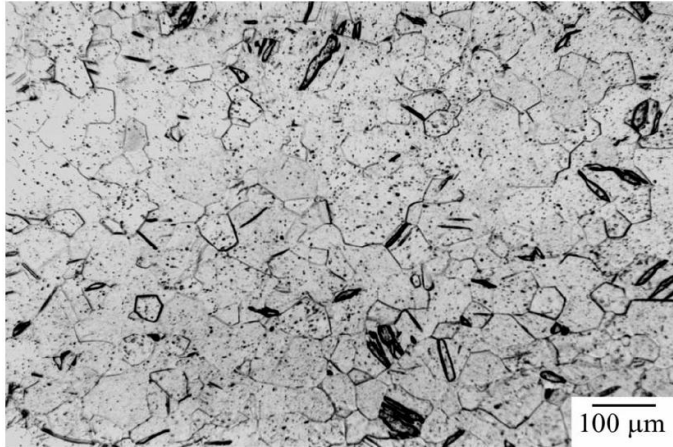
Tabel 2.2 Mechanical properties CP-Ti Grade 2

<b>Mechanical Properties</b>			
Besaran	SI	British	Keterangan
Hardness, Knoop	170	170	
Hardness, Rockwell B	80	80	
Hardness, Vickers	145	145	
Tensile Strength, Ultimate	344 MPa	49900 psi	
Tensile Strength, Yield	275 - 410 MPa	39900 - 59500 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	
Reduction of Area	35 %	35 %	
Modulus of Elasticity	105 GPa	15200 ksi	In Tension
Compressive Modulus	110 GPa	16000 ksi	
Poisson's Ratio	0.37	0.37	
Izod Impact	114 - 171 J	84.1 - 126 ft-lb	
Fatigue Strength	300 MPa	43500 psi	1E+7 cycles, Unnotched
Fatigue Strength	425 MPa	61600 psi	30,000 cycles, Unnotched
Fracture Toughness	66 MPa-m <sup>1/2</sup>	60.1 ksi-in <sup>1/2</sup>	K(Q); annealed
Shear Modulus	45 GPa	6530 ksi	

Berikut merupakan komposisi kimia dari CP-Ti Grade 2 menurut standart ASTM:

1. Karbon (C). Unsur ini merupakan penstabil alpha. Dengan kandungan maksimal 0.1 Wt. %
2. Besi (Fe). Unsur ini sangat berpengaruh pada CP-Ti Grade 2 dengan kandungan maksimal 0.3 Wt. %. Saat di fasa alpha kelarutannya rendah, sehingga pada fasa beta tidak bisa terdifusi. Namun akan stabil difasa beta pada temperature kamar. Banyaknya Fe disengaja karena menentukan ukuran butir. Dimana ukuran butir yang akan mempengaruhi sifat mekanik dari titanium ini.
3. Hidrogen (H). dengan kandungan maksimal 0.015 Wt. %. Dimana titanium rentan terhadap unsur ini.
4. Nitrogen (N). Unsur ini merupakan penstabil alpha dimana kandungan maksimal 0.03 Wt. %.
5. Oksigen (O). unsur ini merupakan *solid solution* yang kuat pada fasa alpha. Dimana pada konsentrasi cukup tinggi, oksigen dapat merubah karakter *slip* dan *twinning*. Sehingga berpengaruh pada sifat mekanik. Kandungan maksimal 0.25 Wt. %.

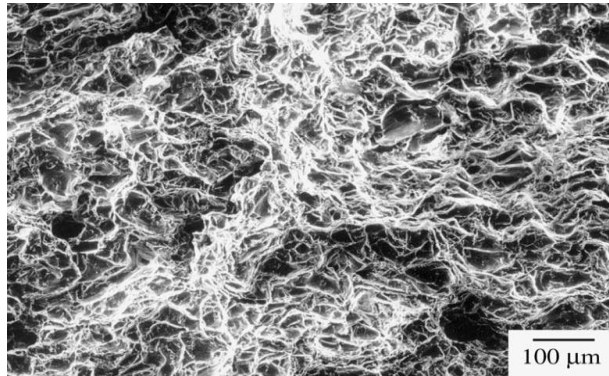
### 2.2.2.1 Pengaruh Struktur Mikro terhadap Physical Properties dan Mechanical Properties



Gambar 2.2 Stuktur Mikro CP-Ti Grade 2 [6].

Pada CP-Ti Grade 2 merupakan fasa single pada struktur mikro, yaitu fasa alpha. Dimana Oksigen dan Alumunium merupakan penstabil fasa alpha. Fasa alpha memiliki sifat stabil pada temperatur tinggi, ketangguhan yang sangat baik dan tahan terhadap korosi. Phasa Alpha, pada fasa ini adalah butir *equaxed* pada mikrostruktur. Fasa  $\alpha$  muncul ketika terjadi *di-annelaing* dengan pengerjaan dingin di atas suhu rekristalisasi. Fungsinya adalah sebagai matriks dalam paduan titanium.

Fasa  $\alpha$  memiliki struktur mikro berbentuk gelombang pada kadar oksigen dibawah 0.25%. Kristal Fasa alpha memiliki struktur Kristal heksagonal close packing. Dimana memiliki system slip yang sedikit sehingga pada sifat mekanik fasa alpha berpengaruh pada kekuatan, dimana semakin banyak struktur mikro alpha, semakin kuat dan keras material tersebut.



Gambar 2.3 Foto Mikro CP-Ti Grade 2 setelah ditarik [6].

Dari gambar diatas dilihat foto mikro pada CP-Ti Grade 2 setelah ditarik pada temperature ruang. Terlihat memiliki bentuk *fine dimples*, dan berserabut. Menandakan material tersebut bersifat tangguh.

#### 2.2.2.2 Pipa Kondensor CP Ti Grade 2

Tabel 2.3 Data Operasional Pipa Kondensor pada Pembangkit Listrik,

CONDENSER	
Manufacturer :	
Type of Condenser :	Rectangular
Number of passes :	1
Total effective tube surface (m2)	25158
Total overall tube length (m):	20410
Effective tube length (m):	20350
Tube diameter and thickness (mm):	25.4x0.5/ 25.4x0.6
TUBE SHEET	
Material	Ti B-256 Gr 2
Thickness(mm)	28

Pipa kondensor yang digunakan untuk PLTU paiton berkapasitas 400 MW adalah titanium grade 2 dikarenakan sifat mekanik yang baik dan tahan korosi yang sangat baik. Namun karena penghantar panas tidak lebih baik dari tembaga diperlukan kebersihan dari pipa titanium tersebut. Oleh karena itu diperlukannya bola pembersih pada penggunaan pipa titanium.

Pipa titanium yang digunakan adalah Sandvik Ti Grade 2, dimana titanium kelas unalloyed (CP titanium = komersial titanium murni) dengan kandungan oksigen standar yang menawarkan kombinasi yang sangat baik dari kekuatan, daktilitas dan mampu dilas. Aplikasi khas untuk Sandvik Ti Grade 2 adalah table25 perpipaan dan penukar panas tabung. Menggunakan Standard ASTM Grade 2 dan UNS R50400.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Pipa Kondensor CP-Ti

Fe	O	Ti	C	H	N
≤0.30	≤0.25	Bal.	≤0.08	≤0.015	≤0.03

### 2.2.3 Heat treatment Beta Annealing Pada Titanium Grade 2

Anil Beta dilakukan untuk meningkatkan ketangguhan suatu material. Dimana dilakukan pada suhu di atas beta paduan yang sedang anil. untuk mencegah pertumbuhan butir yang berlebihan, suhu untuk beta anil harus hanya sedikit lebih tinggi dari transus beta. Lama waktu annealing tergantung pada ketebalan material dan harus cukup lama untuk memungkinkan transformasi menjadi beta secara keseluruhan. Waktu pada suhu setelah transformasi beta harus diadakan untuk mengontrol pertumbuhan butir dari fase beta. Anil beta pada material didinginkan dengan udara di luar dapur. Namun, material yang

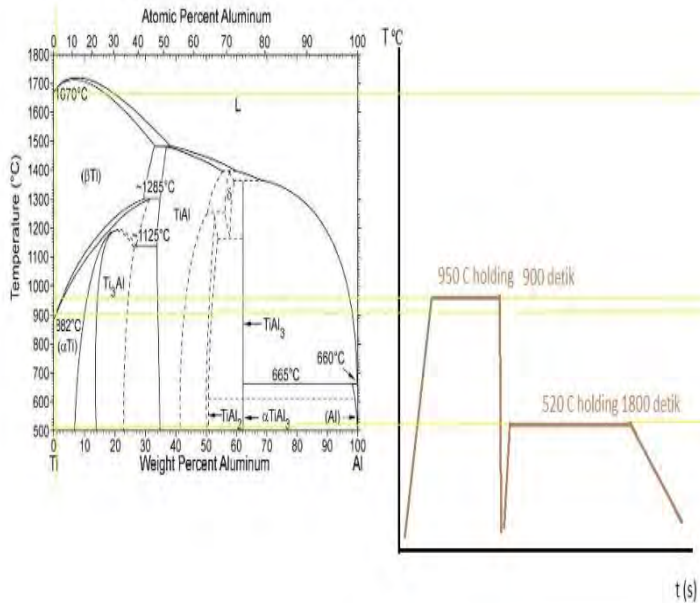
lebih besar perlu kipas bahkan dicelupkan air (*quench*) untuk mencegah pembentukan alpha merugikan pada batas butir. [5]

Saat material di-*quench*, maka timbul tegangan sisa yang akan berpengaruh pada material. Oleh karena itu material diberi laku stress relief. Berikut merupakan daftar pemberian stress relief pada titanium dan paduannya.[5]

Tabel 2.5 Laku Stress Relief pada Titanium dan paduannya [5]

Alloy	Temperature		Time, h
	°C	°F	
Commercially pure Ti (all grades)	480-595	900-1100	$\frac{1}{4}$ -4
<b>Alpha or near-alpha titanium alloys</b>			
Ti-5Al-2.5Sn	540-650	1000-1200	$\frac{1}{4}$ -4
Ti-8Al-1Mo-1V	595-705	1100-1300	$\frac{1}{4}$ -4
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	595-705	1100-1300	$\frac{1}{4}$ -4
Ti-6Al-2Cu-1Ta-0.8Mo	595-650	1100-1200	$\frac{1}{4}$ -2
Ti-0.3Mo-0.8Ni (Ti Code 12)	480-595	900-1100	$\frac{1}{4}$ -4
<b>Alpha-beta titanium alloys</b>			
Ti-6Al-4V	480-650	900-1200	1-4
Ti-6Al-6V-2Sn (Cu + Fe)	480-650	900-1200	1-4
Ti-3Al-2.5V	540-650	1000-1200	$\frac{1}{2}$ -2
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	595-705	1100-1300	$\frac{1}{4}$ -4
Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr (Ti-17)	480-650	900-1200	1-4
Ti-7Al-4Mo	480-705	900-1300	1-8
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	480-650	900-1200	1-4
Ti-8Mn	480-595	900-1100	$\frac{1}{4}$ -2
<b>Beta or near-beta titanium alloys</b>			
Ti-13V-11Cr-3Al	705-730	1300-1350	$\frac{1}{12}$ - $\frac{1}{4}$
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn (Beta III)	720-730	1325-1350	$\frac{1}{12}$ - $\frac{1}{4}$
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo (Beta C)	705-760	1300-1400	$\frac{1}{6}$ - $\frac{1}{2}$
Ti-10V-2Fe-3Al	675-705	1250-1300	$\frac{1}{2}$ -2
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	790-815	1450-1500	$\frac{1}{12}$ - $\frac{1}{4}$
(a) Parts can be cooled from stress relief by either air cooling or slow cooling.			

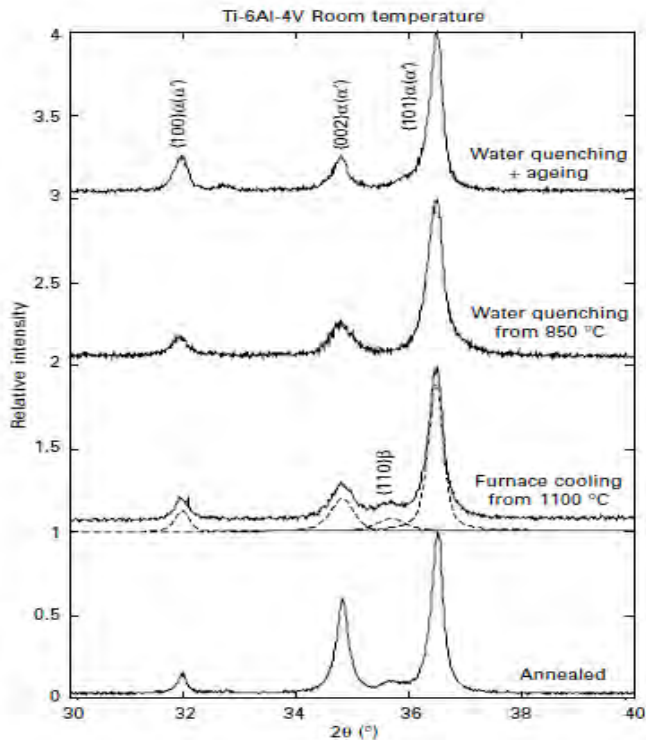
Berikut merupakan diagram fasa titanium dengan kelarutan aluminium 0.8%



Gambar 2.4 Diagram Fasa Ti-Al dengan Cooling Curve

#### 2.2.4 XRD pada Titanium

Kristalografi sinar-X adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur atom dan molekul kristal, di mana atom kristal Titanium menyebabkan sinar-X insiden untuk memantul ke banyak arah tertentu dan terekam. Dengan mengukur sudut dan intensitas ini difraksi sinar, crystallographer dapat menghasilkan gambar tiga dimensi dari kepadatan elektron dalam kristal. Dari kerapatan elektron ini, posisi rata-rata atom dalam kristal dapat ditentukan, ikatan kimia, gangguan atau cacat dan berbagai informasi pada Titanium.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**5 Pola XRD pada Fasa Alpha Ti-6Al-4V [9].

Pola XRD pada Gambar 2.11, paduan Ti 6-4 dalam lima kondisi perlakuan panas yang berbeda, yaitu:

1. Annealing. (dimana terjadi *reduction degree* tidak kurang dari 60% di daerah  $\alpha + \beta$  , diikuti dengan rekristalisasi *Annealing* pada 800 ° C selama dua jam)
2. Pendinginan di dalam dapur, dengan laju pendinginan 0,5 ° C / s, setelah  $\beta$ -homogenisasi pada 1100 ° C
3. *Quenching* dengan media air setelah  $\beta$ -homogenisasi pada 1100 ° C



4. *Quenching* dengan media air setelah homogenisasi dalam  $\alpha + \beta$  daerah pada  $850^{\circ}\text{C}$
5. *Quenching* dengan media air setelah homogenisasi dalam  $\alpha + \beta$  wilayah pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ , diikuti oleh *Aging* pada  $600^{\circ}\text{C}$  selama 20 jam.

Komposisi fase paduan setelah perlakuan panas yang berbeda terutama fasa alpha (pada gambar 2.11), dengan sejumlah fasa beta dalam kondisi Anneal, 5wt%. Fase Beta ditahan setelah pendinginan di dalam dapur (Annealing) dari daerah fasa Beta. Selama pendinginan lambat, terjadi redistribusi difusi unsur paduan dimana mengarah ke Fasa Beta dengan Beta stabilizer (pada kasus Ti-6Al-4V). akibatnya, sejumlah kecil fasa beta tetap stabil pada suhu kamar. Jumlah fasa beta setelah Annealing adalah 7% dari berat paduan. Setelah *Quenching* dengan media air struktur paduan hanya terdiri Fasa Alpha. Struktur ini merupakan produk diffusional beta untuk alpha dan alpha martensit transformasi pada pendinginan. Transformasi ini terjadi pada suhu dibawah  $700\text{-}750^{\circ}\text{C}$ . [9]

Halaman sengaja dikosongkan.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan XU Chun dan ZHU Wen-feng pada tahun 2010 meneliti tentang transformasi fasa dan *mechanical properties* dimana spesimen yang berupa CP-Ti Grade 2 diberikan laku panas hingga temperature 950°C lalu ditahan 10 menit dan didinginkan hingga 930°C dan diberi tekanan kemudian didinginkan dengan air dengan variasi laju pendinginan yang berbeda. Diagram CCT Dinamis mengkonfirmasi bahwa laju pendinginan memiliki efek yang jelas pada awal dan finishing transformasi dan mikro struktur pada suhu kamar. Tingkat pendinginan 15 ° C / s adalah titik kritis di mana  $\beta$  fase mengubah sepenuhnya untuk fase  $\alpha$ . Ketika laju pendinginan lebih dari 15 ° C / s, beberapa fase  $\beta$  tidak sempat berdifusi, sehingga menyatu dengan fasa  $\alpha$  dan membentuk lamelar. Seperti pelat  $\alpha$  bentuk fasa pada tingkat pendinginan yang lebih rendah dari 2 ° C / s, fase  $\alpha$  bergigi terjadi pada pendinginan menengah dengan nilai dari 5 sampai 10 ° C / s. Net-like fase  $\alpha$  muncul setelah laju pendinginan lebih tinggi dari 15 ° C / s. Ada tiga pola deformasi CP-Ti grade 2 pada rentang suhu 700-900 ° C. Rekristalisasi dinamis terjadi pada 900 ° C, dinamis pemulihan berlangsung pada suhu tengah berkisar dari 750-850 ° C, dan fenomena *work hardening* terjadi pada suhu yang lebih rendah dari 700 ° C. [1].

Pada penelitian yang dilakukan A. Dehghan-Manshadi1, M.H. Reid dan R.J. Dippenaar tahun 2010 tentang efek morfologi struktur mikro terhadap mechanical properties dimana Morfologi yang berbeda dari  $\alpha + \beta$  mikro diperoleh dalam Ti-komersial 6Al-4V paduan dengan pendinginan pada tingkat yang berbeda dari daerah  $\beta$ -fase tunggal ke dalam dua fase. Pengaruh morfologi seperti pada sifat mekanik dipelajari dengan menggunakan tes kompresi panas di simulator termomekanis Gleeble. Berbagai

morfologi kompleks dapat diperoleh karena tingkat pendinginan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap  $\beta$  untuk  $\alpha$  transformasi fasa dan pengembangan morfologi yang dihasilkan. Sementara sebagian besar fase  $\beta$  diubah menjadi koloni  $\alpha$  pada tingkat pendinginan yang tinggi untuk mendapatkan campuran kompleks koloni  $\alpha$ . Batas butir  $\alpha$  dan struktur lamellar dengan mengurangi tingkat pendinginan. Morfologi kompleks masing-masing ditunjukkan sifat mekanik yang khas dan perilaku transformasi fasa karakteristik dinamis selama deformasi sebagai fungsi laju regangan. Dimana struktur lamellar  $\alpha$  globulized, batas butir dan fase equiaxed- $\alpha$  menyebabkan menurunnya aliran tegangan, dikarenakan grain size-nya mengecil dan menaikkan kekuatan material tersebut.[2]

Pada penelitian yang dilakukan F. X. Gil, D. Rodriguez and J. A. Planell tahun 1995 tentang grain growth dimana CP-Ti dilakukan perlakuan panas pada temperature 700, 750 dan 800 ° C untuk mempelajari pertumbuhan grain pada fasa alpha. Dan temperatur 900, 1000 dan 1100° C untuk mempelajari pertumbuhan grain pada fasa alpha bertransisi beta. Dengan tiap temperatur diberi variasi waktu pemanasan, 5, 10, 15, 60 dan 120 menit, kemudian di-quench dengan media air hingga temperature 20 ° C. Ukuran butir semakin besar bersamaan kenaikan temperatur dan waktu heat treatment. Untuk variasi waktu pemanasan 5 sampai 10 menit, pertumbuhan ukuran butir semakin cepat dan selanjutnya lebih lambat dikarenakan batas butir energi antarmuka per unit volume menurun dan oleh karena itu, kekuatan pendorong bagi pertumbuhan butir yang lebih rendah. [3]

## 2.2 Dasar Teori

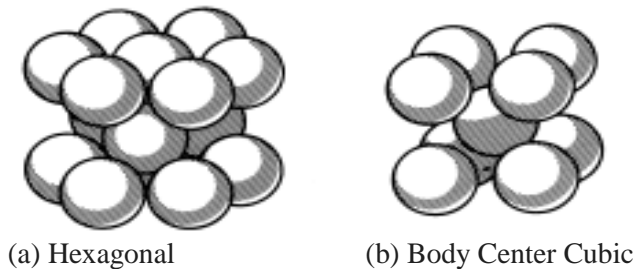
### 2.2.1 Titanium

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki symbol Ti dan nomor atom 22 yang ditemukan pada tahun 1791 tetapi tidak diproduksi secara komersial hingga tahun 1950-an. Titanium ditemukan di Inggris oleh William Gregor

dalam 1791 dan dinamai oleh Martin Heinrich Klaproth untuk Titan dari mitologi Yunani.

Titanium merupakan logam transisi yang ringan, kuat, tahan korosi termasuk tahan air laut dan chlorine dengan warna putih-metalik-keperakan. Titanium digunakan dalam alloy (terutama dengan besi dan aluminium) dan senyawa terbanyaknya, titanium dioksida, digunakan dalam pigmen putih. Salah satu karakteristik titanium yang paling terkenal yaitu bersifat sama kuat dengan baja tetapi beratnya hanya 60% dari berat baja. Sifat titanium mirip dengan zirkonium secara kimia maupun fisika. Titanium dihargai lebih mahal daripada emas karena sifat-sifat logamnya.

Unsur ini terdapat di banyak mineral dengan sumber utama adalah rutile dan ilmenit, yang tersebar luas di seluruh Bumi. Ada dua bentuk alotropi dan lima isotop alami dari unsur ini; Ti-46 sampai Ti-50 dengan Ti-48 yang paling banyak terdapat di alam (73,8%).



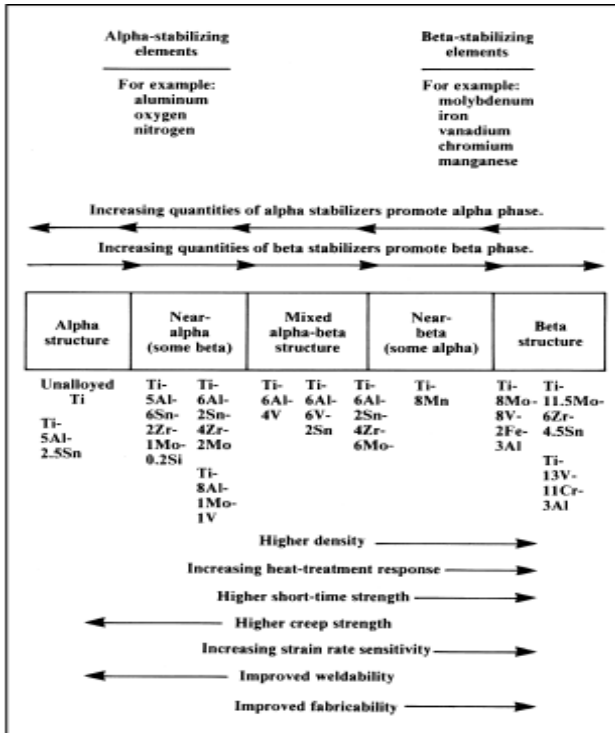
Gambar 2.1 Gambar Struktur Kristal

Titik leleh titanium adalah lebih dari  $1660^{\circ}\text{C}$  ( $3000^{\circ}\text{F}$ ), meskipun sebagian besar komersial paduan beroperasi pada atau di bawah  $538^{\circ}\text{C}$  ( $1000^{\circ}\text{F}$ ). Titanium bersifat allotrophy, yaitu memiliki dua unsur struktur kristal pada temperatur berbeda:

- a. Hexagonal, berbentuk seperti digambar 2.1 (a). Terjadi saat titanium berada di kondisi temperatur kamar hingga  $882^{\circ}\text{C}$  dan berfasa  $\alpha$ .

- b. Body Center Cubic , berbentuk seperti digambar 2.1 (b).  
Terjadi saat titanium di kondisi temperature diatas 882°C sampai titik leleh 1721°C dan berfasa beta.

### 2.2.1.1 Sistem Fasa Titanium



Gambar 2.2 Skema Penambahan Paduan yang mempengaruhi fasa [5].

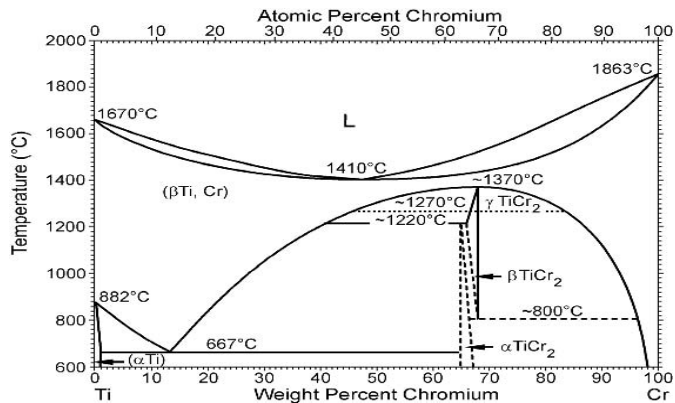
Gambar 2.2 secara skematik menunjukkan beberapa efek dari paduan elemen pada struktur untuk mewakili paduan dan kelas atau subclass dari titanium paduan . Gambar tersebut juga menunjukkan efek bahwa struktur terhadap beberapa dipilih property.

Komposisi paduan ditunjukkanAngka tersebut juga menunjukkan efek bahwa struktur terhadap beberapa dipilih

property. Komposisi paduan menunjukkan tidak dimaksudkan untuk menjadi semua inklusif melainkan untuk menyarankan beberapa dari paduan digunakan dalam paduan titanium desain . Penambahan unsur paduan untuk titanium murni menghasilkan berbagai kemungkinan mikro pada paduan titanium .

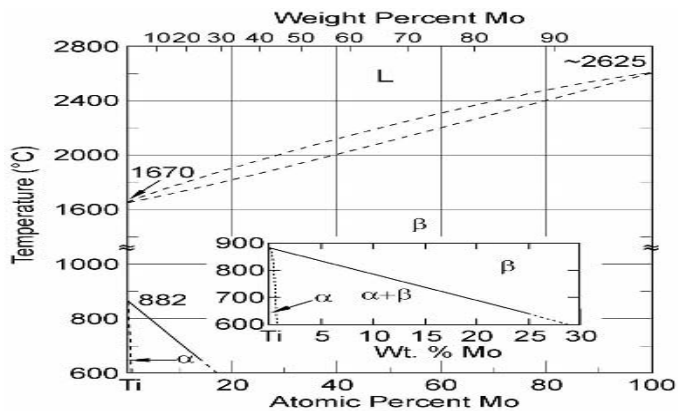
Dengan fasa beta - mendukung cukup unsur paduan tingkat , fasa beta diproduksi pada pemanasan dan berubah selama pendinginan berikut tinggi pengolahan . Struktur yang dihasilkan mewakili paduan alpha - beta . Sebuah variasi dari paduan alpha mengakui berbagai kimia paduan dan struktur mungkin dalam rentang dasarnya alpha . Variasi ini disebut dekat - alpha . Struktur Beta umumnya harus dirujuk beta sebagai metastabil . Ini adalah paduan yang mempertahankan struktur dasarnya beta pada pendinginan untuk suhu kamar.

### 2.2.1.2 Diagram Fasa pada Titanium



Gambar 2.3 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Cromium[4].





Gambar 2.4 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Molybdenum [4].

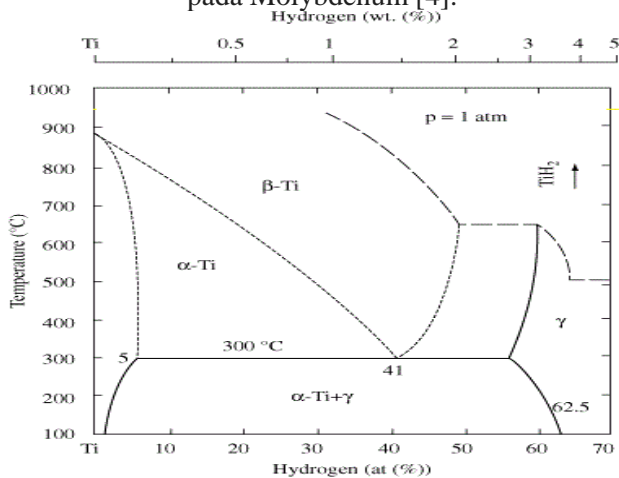
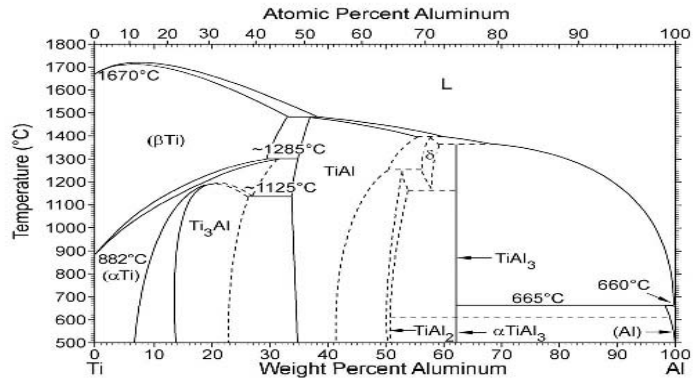


Figure 1. Ti-H phase diagram at  $P = 1$  atm.

Gambar 2.5 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Hidrogen [4].



Gambar 2.6 Diagram fasa Titanium dengan kelarutan pada Alumunium [4].

## 2.2.2 Klasifikasi Titanium

Secara garis besar titanium dibagi menjadi dua, yaitu titanium murni dan paduan titanium paduan.

### 2.2.2.1 Titanium Murni

Titanium (47, 88) murni merupakan logam putih yg sangat bercahaya, kristalnya berbentuk heksagonal, memiliki berat jenis 4.45 g/cm<sup>3</sup>, mudah dibentuk & memiliki resistansi korosi yg baik . Dengan titik leleh 1668°C, berstruktur krislal hcp dan berfasa alpha pada temperature kamar dengan modulus elastisitas  $16.8 \times 10^6$  lb/in<sup>2</sup>.

Titanium murni dapat di-cold rolled pada temperature kamar hingga 90% reduksi tanpa mengalami retak yang serius. Seperti logam hcp lainnya yang memiliki deformability yang baik.

Pemurnian titanium hingga 100% titanium sangat jarang dilakukan. Dikarenakan cost serta tingkat kesulitan yang tinggi. Sehingga lebih banyak digunakan Comercial Pure dimana kadar titanium 99-99.5%. Dimana unsur utama adalah alumunium dengan tambahan unsur karbon, oksigen, nitrogen, dan hydrogen.

Berikut merupakan table dari komposisi kimia dan tensile strength.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia dan UTS CP-Ti. [4]

Grade(a)	Max interstitial content allowed, wt%				Max tensile strength		Min yield strength		Elongation, %	Reduction in area, %
	N	C	O	H	MPa	ksi	MPa	ksi		
1	0.03	0.10	0.18	0.0125(b) 0.0100(c)	241	35	172	25	24	30
2	0.03	0.10	0.25	0.0125(b) 0.0100(c)	345	50	276	40	20	30
3	0.05	0.10	0.35	0.0125(b) 0.0100(c)	448	65	379	55	18	30
4	0.05	0.10	0.40	0.0125(b) 0.0100(c)	552	80	483	70	15	25

(a) Commercially pure alpha titanium for bars and billets (ASTM B 348-78). (b) Bars only. (c) Billets only

### 2.2.2.2 Paduan Titanium

Paduan titanium secara umum dibagi menjadi empat:

- a. *Alpha titanium alloy* merupakan paduan titanium yang paduannya membuat logam titanium tersebut stabil pada fasa alpha. Stabil di fasa alpha dikarenakan terkandung unsur alumunium dan tin. Alumunium paling berpengaruh pada paduan ini dikarenakan sangat stabil di fasa alpha sehingga menaikkan kekuatan dan mengurangi densitas dari titanium itu sendiri. Paduan alpha memiliki alpha yang biasa mereka fase pada suhu yang lebih rendah, di bawah sekitar 800 ° C (1472 ° F).

Secara umum, paduan alpha mengandung fase beta jauh lebih kecil daripada Ti-6Al-4V. Jadi sifat mereka pada umumnya tidak diubah sangat dengan perlakuan panas. Umur pengerasan perawatan yang tidak terlalu efektif karena mereka bergantung pada beta-fase transformasi untuk efek perbaikan kekuatan. Umur pengerasan perlakuan panas dapat merusak merayap perlawanan. Oleh karena itu, alpha dan dekat-alpha paduan biasanya digunakan dalam larutan-anil dan stabil kondisinya. Anneal solution dapat dilakukan pada suhu sekitar 35 ° C (63 ° F) di bawah suhu beta transus,

sementara stabilisasi umumnya diproduksi oleh pemanasan selama 8 jam pada sekitar  $590^{\circ}\text{C}$  ( $1100^{\circ}\text{F}$ ). paduan ini lebih rentan terhadap pembentukan  $\text{Ti}_3\text{Al}$ , yang cenderung menjadi korosi-tegangan cracking (SCC).

- b. *Near Alpha alloy* dimana masih terdapat beberapa fasa beta di stuktur fasa alpha. Dikarenakan terdapat sedikit kandungan molybdenum dan vanadium sekitar 1-2 %. Untuk paduan ini bisa dilakukan dua perlakuan panas, yaitu mill annealing dan dupleks annealing. Mill annealing dipanaskan kembali hingga temperature  $790^{\circ}\text{C}$  selama 8 jam, kemudian didinginkan di dapur. Sementara untuk dupleks annealing dipanaskan pada temperature  $790^{\circ}\text{C}$  selama 0.25 jam lalu didinginkan di udara. Sifat mekanik dari paduan ini tensile strength sedang dan keuletan yang baik. Walaupun pada kondisi dupleks annealing bisa dinaikkan sekitar 25% dengan solution heat treatment dan aging.
- c. Alpha- Beta alloy, dimana paduan ini memiliki satu atau lebih beta stabilizer. Stabilisator alpha yaitu aluminium dan timah ditambahkan ke titanium untuk menaikan kestabilan fasa alpha ke fase beta dan meningkatkan kekuatan paduan titanium dengan solid-solution hardening. Penambahan elemen beta-menungkinkan perlakuan panas pada suhu yang lebih rendah dan solid-solution bisa mengeras lebih lanjut. Elemen beta-mendukung juga dapat menghambat pembentukan alpha sehingga beta yang berubah martensit atau dipertahankan untuk mengubah kemudian ke alpha pada saat pemanasan untuk suhu dari 427 menjadi sekitar  $816^{\circ}\text{C}$  ( $800-1500^{\circ}\text{F}$ ).
- d. Beta alloy Suatu paduan dianggap paduan beta jika mengandung unsur stabilizer beta yang cukup paduan untuk mempertahankan fase beta tanpa transformasi martensit pada pendinginan di suhu kamar. Pada temperature kamar, stuktur Kristal paduan adalah bcc. Dalam kondisi solution-treated (100% retained beta), paduan beta memiliki keuletan dan

ketangguhan yang baik, kekuatan yang relatif rendah, dan deformable yang sangat baik. Paduan beta solution-treated mulai mengendapkan fase alpha yang sedikit di suhu tinggi sehingga tidak cocok untuk pemakaian di suhu tinggi tanpa over-aging aging sebelumnya. Sehingga untuk penggunaan biasa digunakan di suhu sedang.

### 2.2.3 Struktur Mikro pada Titanium

#### 2.2.3.1 Pure Titanium (Commercial Pure Titanium)

Pada pure titanium, struktur mikro yang terbentuk adalah equiaxed Alpha dengan fase alpha berstruktur kristal hexagonal compact. Transformasi Beta pada Pure Titanium di daerah Alpha akan terbentuk dengan 2 cara, secara martensit atau dengan difusi yang dikontrol oleh nukleasi dengan proses penumbuhan yang bergantung pada laju pendinginan dan komposisi paduan.

#### 2.2. 3.2 Paduan $\alpha$

Pada paduan alpha, struktur mikro yang terbentuk adalah hcp martensit. Dimana Volume yang mengalami transformasi martensite biasanya berbentuk plate atau disk untuk kebanyakan titanium alloy. Temperatur awal transformasi martensite pada pure titanium bergantung pada tingkat *impurity* (oksigen dan besi). Namun biasanya transformasi terjadi pada suhu sekitar 850<sup>0</sup>C dan temperatur tranformasi akan meningkat seiring meningkatnya kandungan stabilizer  $\alpha$  (Al atau oksigen) dan menurun seiring meningkatnya kandungan stabilizer  $\beta$ .

#### 2.2. 3.3 Paduan $\beta$

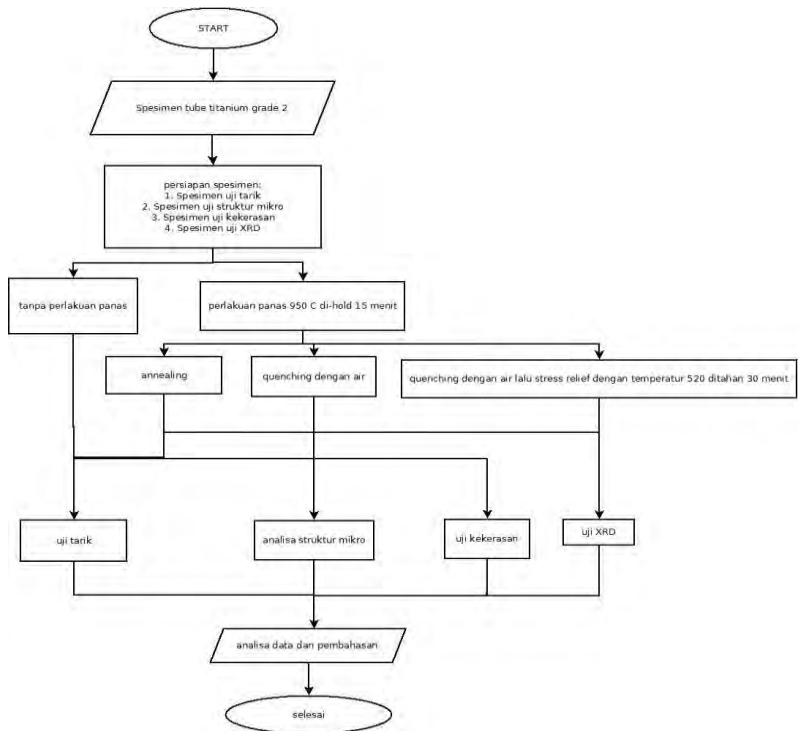
Pada paduan beta, terdiri dari paduan dengan metastable  $\beta$  karena letaknya pada daerah equilibrium ( $\alpha + \beta$ ). Alloy grup  $\beta$  memiliki karakteristik yaitu tidak bertansformasi secara martensit pada pendinginan cepat dari daerah fase  $\beta$ . Dan memiliki struktur Kristal body center cubic.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini digambarkan secara singkat melalui diagram alir pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Flowchart Percobaan.

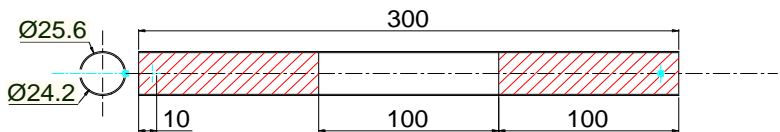
### 3.2 Material

#### 3.2.1 Material yang Digunakan

Material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pipa kondensor yang diambil pada instalasi kondensor region A pada pembangkit energi tenaga uap di PJB Paiton 7 buah pipa merupakan pipa yang mengalami kegagalan dan diambil secara acak.

#### 3.2.2 Bentuk spesimen uji

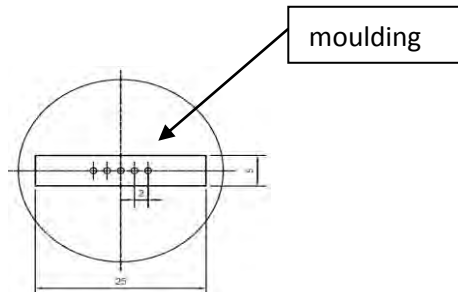
##### 1. Bentuk spesimen uji tarik



Gambar 3.2 Bentuk spesimen uji tarik jis z 2201 dalam satuan millimeter, dan diberi baja tulangan

##### 2. Bentuk spesimen uji kekerasan.

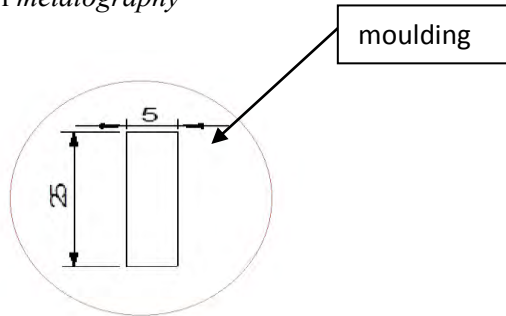
Bentuk spesimen pengujian kekerasan seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Bentuk spesimen uji kekerasan dalam satuan milimeter.

Spesimen kekerasan di-*molding* menggunakan Polyster Alfaglos agar pada saat pengujian spesimen stabil tidak bergeser.

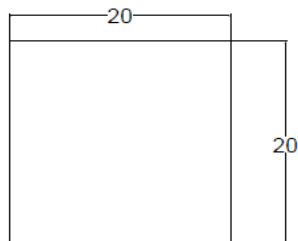
### 3. Bentuk spesimen uji *metallography*



Gambar 3.4 Bentuk spesimen uji *metallography* dalam satuan millimeter

Spesimen *metallography* di-*molding* menggunakan Polyster Alfaglos untuk mempermudah saat menggrinding, polishing, dan pengamatan struktur mikro.

### 4. Bentuk spesimen uji XRD



Gambar 3.5 Bentuk spesimen uji *XRD* dalam satuan millimeter



### 3.3 Langkah – Langkah Percobaan

#### 3.3.1 Spesifikasi Spesimen

Spesimen yang diambil dari penelitian ini merupakan Titanium Comercial Pure Grade 2 dimana telah didapatkan data *mechanical properties*, *physical properties* dan komposisi kimia dari spesimen tersebut sesuai standart.

#### 3.3.2 Pengamatan Metalography

Sebelum dan setelah perlakuan panas, dilakukan pengamatan metalografi pada material untuk mengamati struktur mikronya. Adapun tahap dari *metalography* adalah sebagai berikut:

1. *Moulding*

Proses *moulding* adalah membuat cetakan dengan *polyester aliflos*. Pertama – tama cetakan pipa diberi wax agar produk nantinya mudah keluar. Polyester diberi hardener untuk mempercepat pengerasan. Tuang polyester ke dalam cetakan. Tunggu hingga polyester mengering dan siap untuk dilepas dari cetakan.

2. Gerinda (*Grinding*) & Poles (*Polishing*)

Proses *grinding* pada spesimen , yaitu spesimen digosok dengan menggunakan mesin *grinding* dan kertas gosok dengan grid 80-2000. kemudian spesimen dipoles menggunakan kain wol serta ditaburi bubuk alumina sampai permukaan spesimen mengkilap seperti kaca.

3. Etsa (*Etching*)

Tujuan dari etsa adalah untuk mendapatkan permukaan yang dapat diamati dengan mikroskop optis. Etsa dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam *etching reagent* tertentu selama waktu tertentu pula sesuai dengan karakteristik dari jenis *etching reagent* yang digunakan

pada material tertentu. Pada proses etsa ini *etching reagent* yang digunakan adalah larutan yang merupakan campuran antara 10 ml HF, 5 ml HNO<sub>3</sub>, dan 85 ml H<sub>2</sub>O.

4. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optis.

Setelah dilakukan etsa, struktur mikro dari material dapat diamati dengan menggunakan mikroskop optis. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan komputer sehingga mampu menangkap gambar secara digital. Pengambilan gambar struktur mikro pada material dengan perbesaran 100x dan 500x pada titik yang ditentukan.

### 3.3.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada masing – masing material yang telah dibentuk sesuai standar dan telah dilakukan perlakuan panas. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan kekuatan tarik material pada masing – masing variasi pendinginan. Spesimen dibentuk sesuai dengan standar jis z 2201. Ujung masing – masing spesimen dimasukan baja tulangan sepanjang 100 mm dan diberi pin dengan diameter 3 mm. Panjang gauge length 100 mm.

### 3.3.4 Pengujian Kekerasan

Pada mikro vicker, indentor yang di gunakan juga sama seperti pada vickers biasa, juga cara perhitungan angka kekerasannya, hanya saja gaya tekan yang di gunakan kecil sekali. mengingat bentuk indentornya maka knoop akan menghasilkan indentitas yang sangat dangkal (dibandingkan dengan vickers), sehingga sangat cocok untuk pengujian kekerasan pada lapisan yang sangat tipis. Sebelumnya, spesimen digrinding dan dipoles terlebih dahulu. Spesimen diindentasi dan

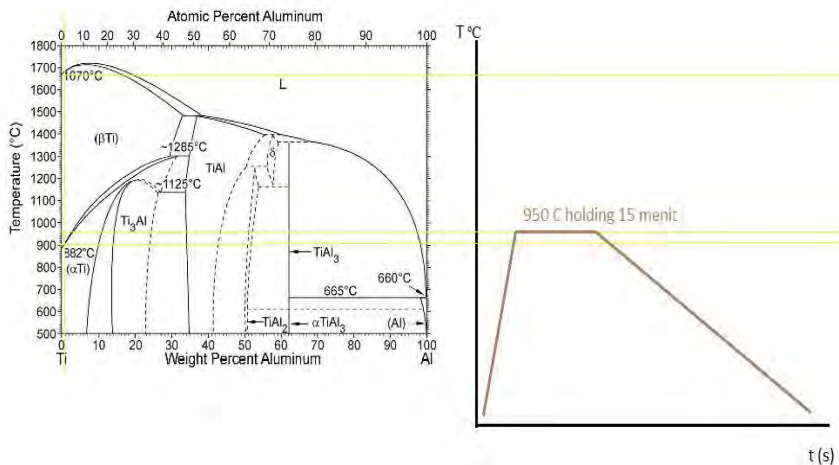
di-*hold* selama 4 detik. Pengujian ini menggunakan gaya sebesar 0,1 kgf dengan perbesaran 50x.

### 3.3.5 Perlakuan Panas ( *Heat Treatment* )

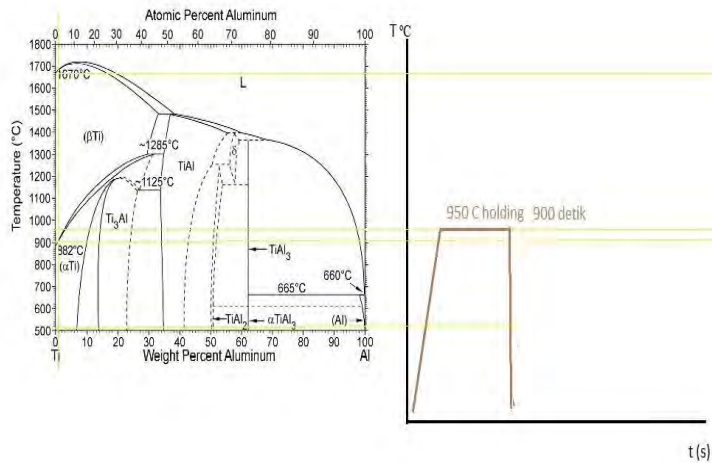
Heat treatment yang dilakukan pada penelitian ini adalah beta annealing dengan menaikkan temperature hingga suhu 950 C lalu di *hold* selama 15 menit kemudian didinginkan dengan variasi

1. Didinginkan di dalam dapur
2. Didinginkan dengan quenching dengan media air kemudian stress relief.

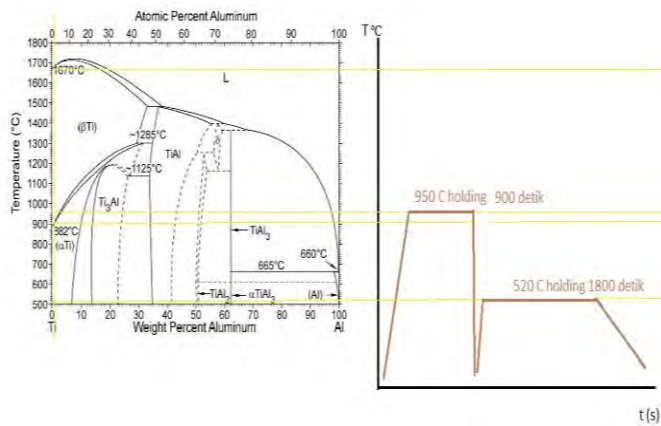
Berikut merupakan diagram *cooling rate* sesuai laku panas variasi laku pendinginan pada material CP-Ti Grade 2.



Gambar 3.6 Kurva pendinginan dengan variasi pendinginan di dalam dapur



Gambar 3.7 Kurva pendinginan dengan di-*quench* dengan media air.



Gambar 3.8 Kurva pendinginan dengan di-*quench* dengan media air kemudian diberi stress relief.

### 3.3.6 Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan pada masing – masing material yang telah dibentuk sesuai standar dan telah dilakukan perlakuan panas. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan sistem kristal spesimen pada masing – masing variasi pendinginan.

## 3.4 Peralatan yang Digunakan

### 3.4.1 Peralatan Uji Komposisi Kimia

SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah peralatan untuk menguji/melihat struktur permukaan sampel dengan perbesaran sampai dengan 1.000.000 x. Peralatan ini memiliki 2 modus operasional, *Low Vacuum* (untuk sampel non-konduktif) dan *High Vacuum* (untuk sampel konduktif). Alat ini dilengkapi EDX yaitu alat yang dapat digunakan untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat struktur permukaannya. Kandungan unsur yang dapat diuji mulai dari Berilium s/d Uranium. Sebaran unsur didalam bahan juga dapat dideteksi berupa *surface area*, *line* dan *mapping*.



Gambar 3.9 Mesin SEM-EDX.

### 3.4.2 Peralatan Grinding dan Polishing

Peralatan ini digunakan untuk membuat permukaan spesimen rata, sehingga dapat digunakan untuk pengamatan struktur mikro maupun struktur makro. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid tertentu dengan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus. Sedangkan *polishing* menggunakan kain wol yang ditaburi bubuk alumina dan dialiri air sampai permukaan spesimen lebih halus lagi.

Gambar 3.10 Mesin *grinding* / *Polishing*.

### 3.4.3 Peralatan Pengujian Etsa (Etching)

Proses etsa dilakukan dengan maksud untuk menkorosikan bagian permukaan spesimen sehingga struktur mikro spesimen dapat dilihat. Pada proses etsa ini *etching reagent* yang digunakan adalah larutan yang merupakan campuran antara 10 ml HF, 5 ml HNO<sub>3</sub>, dan 85 ml H<sub>2</sub>O.



Gambar 3.11 Gambar Peralatan Pengujian Etsa

#### 3.4.4 Peralatan Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium metalurgi dimana peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mikroskop dan kamera digital
- Satu unit komputer

Gambar struktur mikro yang diperoleh dari mikroskop dikirim ke *digital still recorder* melalui kamera. Gambar ini kemudian direkam oleh *digital still recorder* kemudian disimpan oleh komputer dalam bentuk file. Dengan peralatan ini dapat dilakukan pengamatan dengan pembesaran 100X sampai dengan 1000X sesuai dengan kebutuhan. Gambar 3.12 dibawah ini menampilkan peralatan yang digunakan.



Gambar 3.12 Peralatan pengamatan struktur mikro

#### 3.4.5 Pengujian *Microhardness*

Mesin uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah milik laboratorium Robotika ITS Surabaya. Mesin yang digunakan adalah mesin uji kekerasan dengan metode *vickers*.



Gambar 3.13 Mesin uji kekerasan *microhardness*.



### 3.4.6 Mesin Uji Tarik

Mesin tarik yang digunakan adalah AMSLER OTTO WOLPERT-WERKE GMBH dengan kapasitas maksimum 300KN. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.14



Gambar 3.14 Mesin uji tarik.

### 3.4.7 Dapur Pemanas

Peralatan ini digunakan untuk memberikan perlakuan panas dan juga *holding time* pada temperatur serta waktu penahan yang telah ditentukan. Pada penelitian ini digunakan dapur pemanas dengan kapasitas pemanasan hingga 950°C.



Gambar 3.15 Dapur pemanas.

#### 3.4.7 Mesin XRD



Gambar 3.16 Mesin XRD

### 3.5 Perencanaan Eksperimen

No	Perlakuan	titik	Kode	HVN xx1	HVN xx2	HVN xx3	HVN Rata rata xx1	HVN Rata rata xx2	HVN Rata rata xx3	HVN Rata Rata	Standar Deviasi
1	Tanpa Perlakuan	1	A0								
2		2	A0								
3		3	A0								
4		4	A0								
5		5	A0								
6	Annealing	1	A1								
7		2	A1								
8		3	A1								
9		4	A1								
10		5	A1								
11	Quenching	1	A4								
12		2	A4								
13		3	A4								
14		4	A4								
15		5	A4								
16	Quenching dan Stress Relief	1	A5								
17		2	A5								
18		3	A5								
19		4	A5								
20		5	A5								

No	Kode	Temperatur	Waktu Penahanan	Variasi	UTS	Rata rata UTS (MPa)	Standart Deviasi
		°C	Menit		MPa		
1	A01	-	-	-			
2	A02		-				
3	A03		-				
4	A11	950	15	Annealing			
5	A12		15				
6	A13		15				
7	A31	950	15	Quenching dengan Air			
8	A32		15				
9	A33		15				
10	A 51	950	15	Quenching dengan air kemudian Strees Relief			
11	A52		15				
12	A53		15				

Catatan:

Axx: Merupakan material berbahan Commercial Pure Titanium grade 2

x0x: Tanpa pemberian perlakuan panas

x1x: Telah diberikan perlakuan Annealing

x4x: Telah diberikan perlakuan Quenching media air

x5x: Telah diberikan perlakuan Quenching media air kemudian stress Relief

xx1: Spesimen 1

xx2: Spesimen 2

xx3: Spesimen 3

Halaman sengaja dikosongkan

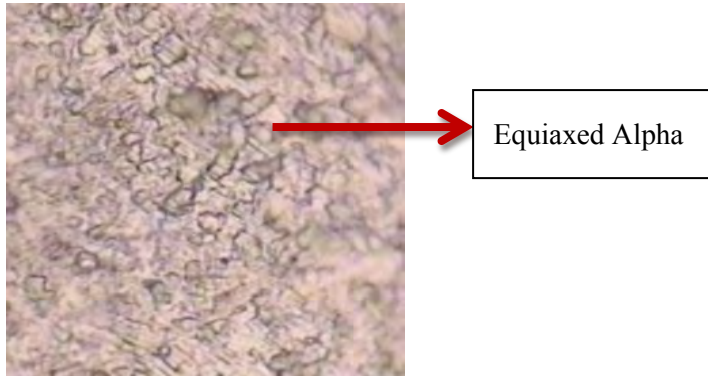
## BAB 4

### DATA HASIL PENELITIAN

Dari hasil penelitian pada variasi proses perlakuan panas *Annealing*, *Quenching* media air dan *Stress Relief* terhadap material Tube Condenser CP-Ti Grade 2 non standar, diperoleh suatu struktur mikro yang berbeda. Sebelum melakukan pengamatan metallography, dilakukan serangkaian persiapan spesimen meliputi proses grinding, polishing dan etsa. Proses etsa dilakukan dengan mencelupkan material kedalam larutan etsa berupa nital ( $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{H}_2\text{O}$ ). Untuk memudahkan dalam pengamatan dan analisa struktur mikro yang terjadi, maka akan ditunjukkan oleh foto struktur mikro pada setiap spesimen. Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai kekuatan dari hasil uji tarik dan Vickers Microhardness pada masing- masing variasi perlakuan panas. Berikut merupakan gambar struktur mikro dan data pengujian kekerasan dan kekuatan sebelum perlakuan.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian sifat mekanik CP-Ti Grade 2

Ultimate Strenght	Kekerasan
(MPa)	(HVN)
401.36	207.8

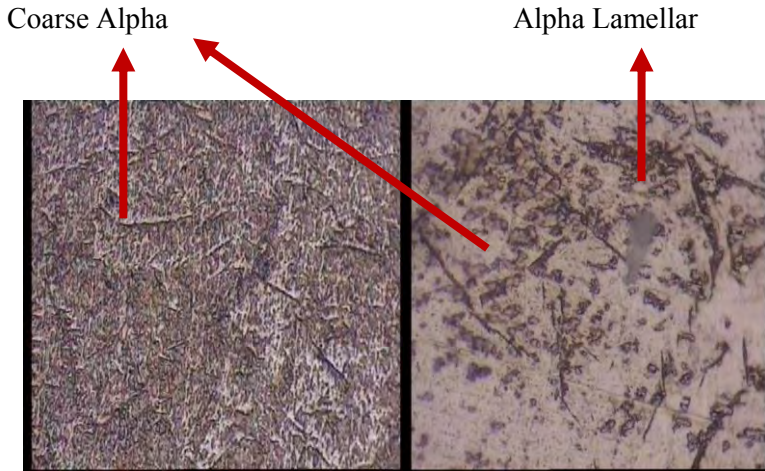


Gambar 4.1 Struktur mikro awal CP-Ti Grade 2  
perbesaran 500x

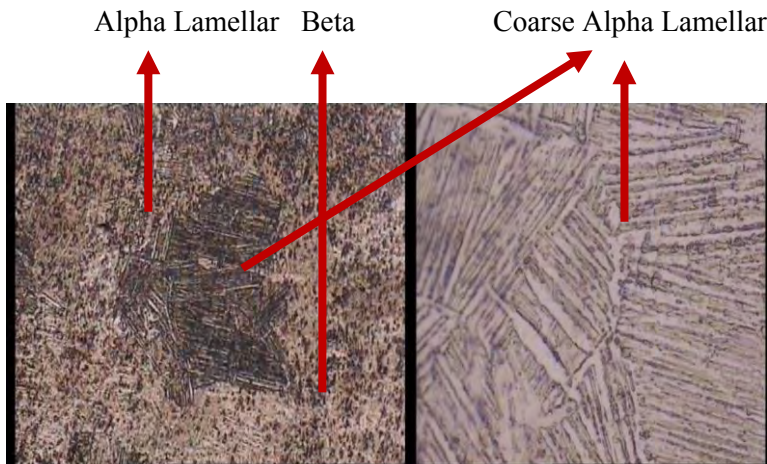
Gambar struktur mikro material CP-Ti Grade 2 ditampilkan pada gambar 4.1, dimana terlihat bahwa pada material tersebut memiliki struktur mikro Alpha Equiaxed. Dari gambar tersebut, struktur mikro pembentuk matriks terdiri dari Fasa Alpha.

#### **4.1 Struktur Mikro Setelah Perlakuan**

Penelitian yang dilakukan mencakup perlakuan panas dengan menggunakan variasi metode pendinginan, yaitu pendinginan di dalam dapur, quenching media air dan quenching media air dan stress relief. Variasi tersebut berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro terutama terhadap matrik penyusunnya. Berikut ditampilkan struktur mikro hasil masing-masing variasi perlakuan.

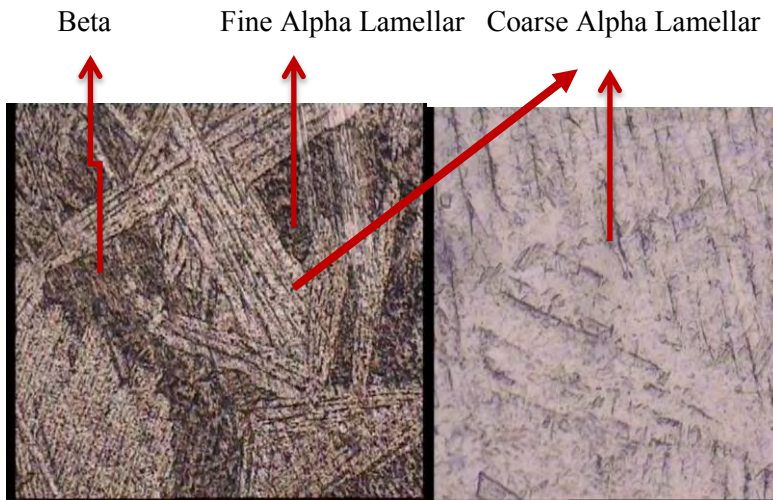


Gambar 4.2 Struktur Mikro CP-Ti Grade 2 dengan perlakuan Annealing (a. perbesaran 100x dan b. perbesaran 500x)



Gambar 4.3 Struktur Mikro CP-Ti Grade 2 dengan perlakuan Quenching media air (a. perbesaran 100x dan b. perbesaran 500x).





Gambar 4.4 Struktur Mikro CP-Ti Grade 2 dengan nama sampel A53 perlakuan Quenching media air kemudian Stress Relief (a. perbesaran 100x dan b. perbesaran 500x).

Pada proses annealing, struktur mikro yang semula terdiri dari alpha, berubah menjadi Alpha Lamellar dan Coarse Alpha. Alpha Lamellar terbentuk pada material CP-Ti Grade 2 ini akibat pengendapan Alumunium sebagai unsur penstabil Beta dari air laut yang melewati tube condenser kemudian berdifusi akibat proses perlakuan panas. Dan Coarse Alpha yang terbentuk dari tingginya kandungan oksigen sebagai unsur penstabil alpha yang mempengaruhi bentuk dari butiran tersebut. Pada proses Quenching struktur mikro yang semula terdiri dari alpha, berubah menjadi alpha Lamellar, Beta, dan Coarse Alpha Lamellar. Ketiga struktur mikro terbentuk selain karena adanya Alumunium sebagai unsur penstabil beta, karena pendinginan yang sangat cepat sehingga tidak sempat berdifusi secara sempurna menjadi alpha. Pada proses Quenching kemudian stress relief struktur mikro yang semula terdiri dari alpha Lamellar, Beta, dan Coarse

Alpha Lamellar menjadi Coarse Alpha Lamellar dan alpha Lamellar. Kedua struktur mikro itu terbentuk dengan rasio yang lebih banyak akibat Beta dalam kasus ini bersifat supersaturated berdifusi menjadi Coarse Alpha Lamellar, dan struktur mikro yang semula Coarse Alpha Lamellar berubah menjadi Fine Alpha Lamellar.

Tabel 4.2 Struktur Mikro dan Perlakuan

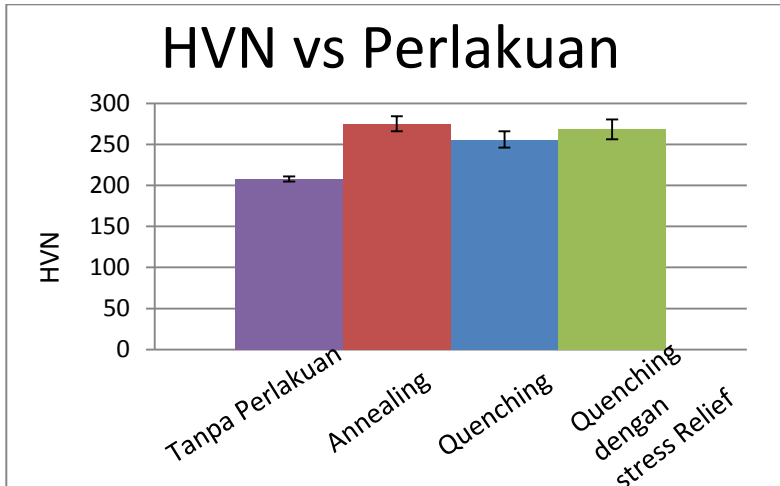
No	Perlakuan	Struktur Mikro
1	Tanpa Perlakuan	Equiaxed Alpha
2	Annealing	Coarse Alpha, Alpha Lamellar
3	Quenching media air	Coarse Alpha, Alpha Lamellar, Beta
4	Quenching media air dan Stress Relief	Coarse Alpha, Fine Alpha Lamellar, Beta

#### 4.2 Pengaruh kekerasan terhadap perlakuan

Berikut ini tabel pengaruh perlakuan terhadap nilai kekerasan *Vickers*. Pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji *microhardness vickers* yang berada di Laboratorium Energy Lembaga Penelitian dan Pengambian kepada Masyarakat ITS. Pengujian ini menggunakan metode *Vickers* dengan beban 0.1 kgf dan menggunakan indenter piramida intan. Untuk mendapatkan harga kekerasan tersebut, dilakukan 5 kali indentasi pada penampang kimelintang spesimen.

**Tabel 4.3** Nilai Kekerasan

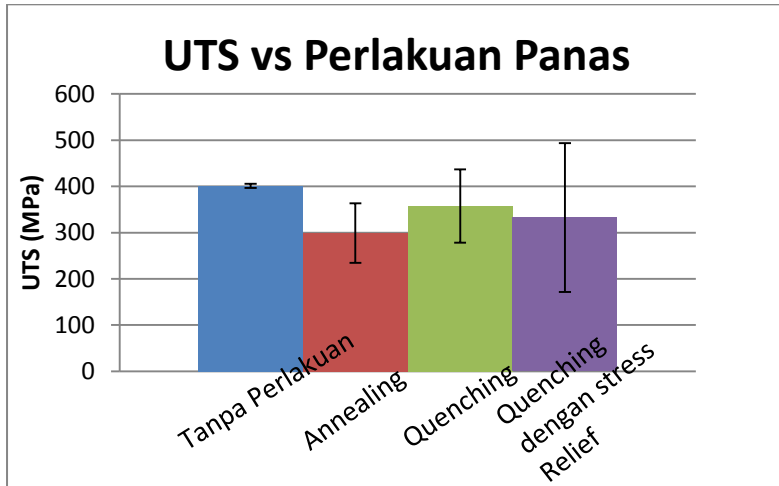
No	Perlakuan	titik	Kode	HVN xx1	HVN xx2	HVN xx3	HVN Rata rata xx1	HVN Rata rata xx2	HVN Rata rata xx3	HVN Rata Rata	Standar Deviasi
1	Tanpa Perlakuan	1	A0	199.8	206.9	207.6	210.2	206.32	207.02	207.84	2.067881
2		2	A0	206.4	208.1	214.1				207.84	
3		3	A0	219.5	204.3	208.5				207.84	
4		4	A0	211.4	205.4	196.1				207.84	
5		5	A0	213.9	206.9	208.8				207.84	
6	Annealing	1	A1	315.2	270.3	249.3	275.54	283.88	265.54	274.98	9.182512
7		2	A1	290.6	285.1	240.1				274.98	
8		3	A1	260.4	283.8	327.9				274.98	
9		4	A1	241.2	303.8	233.5				274.98	
10		5	A1	270.3	276.4	276.9				274.98	
11	Quenching	1	A4	245.7	257.9	253.6	246.66	257.56	237.76	255.98	9.916821
12		2	A4	245.9	252.7	229.6				255.99	
13		3	A4	249.5	249.8	239				255.99	
14		4	A4	248.3	254.3	221.2				255.99	
15		5	A4	243.9	273.1	245.4				255.99	
16	Quenching dan Stress Relief	1	A5	283.4	280.3	278.7	276.12	288.36	269.62	268.33	9.515384
17		2	A5	293.1	308.7	277.5				268.33	
18		3	A5	291.4	304.9	242.8				268.33	
19		4	A5	277.3	290.3	275.7				268.33	
20		5	A5	235.4	257.6	273.4				268.33	



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan nilai HVN terhadap titik dengan variasi perlakuan.

#### 4.3 Pengaruh kekuatan terhadap perlakuan

Dari hasil pengujian *tensile* pada masing-masing spesimen, diperoleh data nilai *ultimate strenght* untuk masing-masing spesimen. Pengujian *tensile* ini menggunakan mesin uji *tensile* yang terdapat di workshop Teknik Mesin ITS. Dikutip dari tabel 4.3 didapatkan grafik grafik pengaruh perlakuan panas terhadap nilai *ultimate strenght* pada masing-masing variasi.



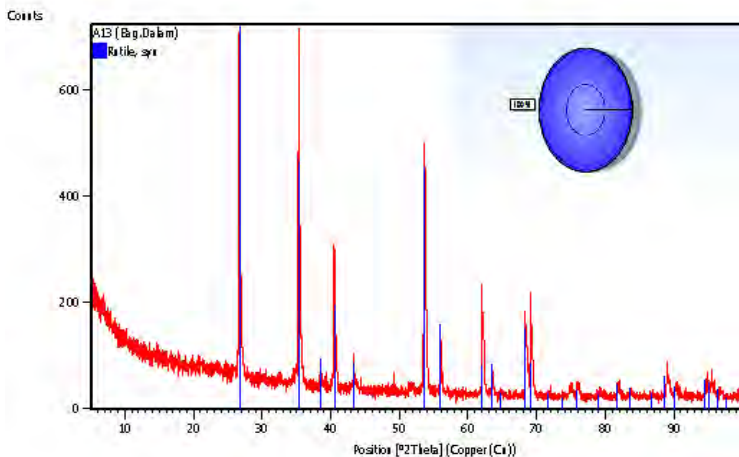
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan nilai UTS rata rata terhadap variasi perlakuan.

Tabel 4.4 Nilai UTS dengan variasi Perlakuan

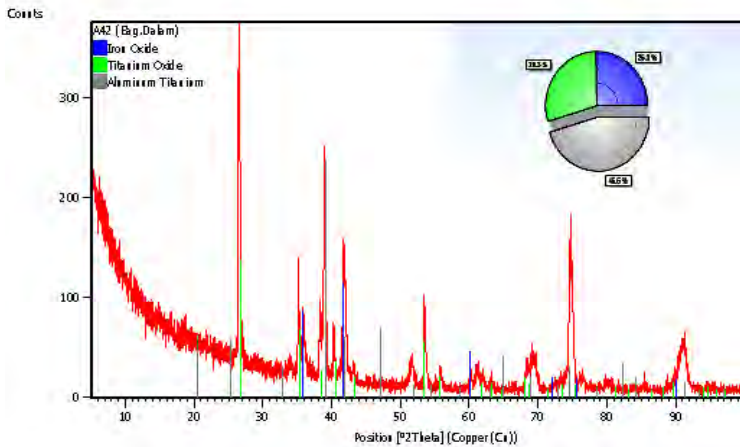
No	Kode	Pu (KN)	UTS (MPa)	Rata rata UTS (MPa)	Standart Deviasi
1	A00	24.5	401.36	401.36	4.393646929
2	A01	24.5	401.38		
3	A02	24.5	408.98		
4	A11	24.5	300.24	298.94	64.23986613
5	A12	23.6	234.06		
6	A13	25.1	362.52		
7	A41	28.1	447.45	357.74	79.38135822
8	A42	25.1	296.6		
9	A43	24.4	329.16		
10	A51	16	200.11	332.68	161.158465
11	A52	15.52	285.86		
12	A53	27.8	512.06		

#### 4.4 X-Ray Diffraction setelah Perlakuan (XRD)

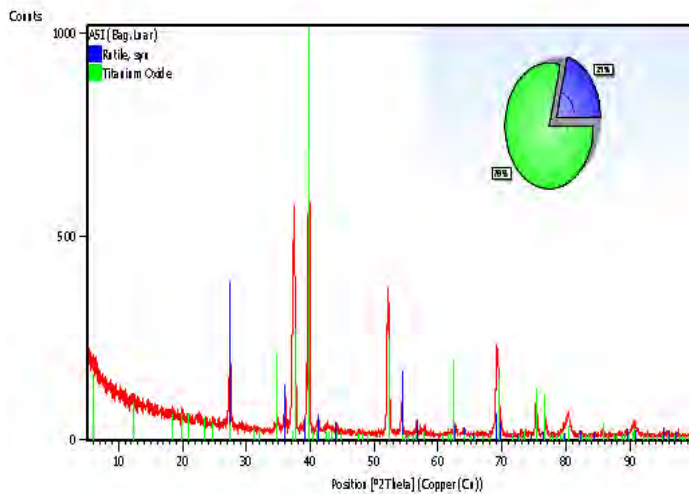
Dari hasil pengujian *XRD* pada masing-masing spesimen, diperoleh data peak di posisi sudut untuk masing-masing spesimen. Pengujian *XRD* ini menggunakan mesin yang terdapat di Teknik Metalurgi dan Material ITS. Berikut ini merupakan gambar hasil dari *XRD* pada masing-masing variasi.



Gambar 4.7 Hasil XRD Titanium setelah Perlakuan Annealing



Gambar 4.8 Hasil XRD Titanium setelah Perlakuan Quenching

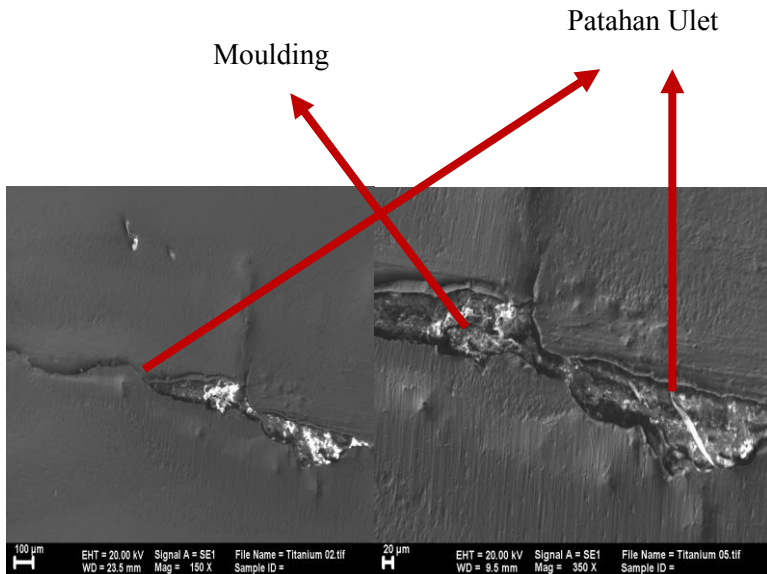


Gambar 4.9 Hasil XRD Titanium setelah Perlakuan Quenching dan Stress Relief

Gambar 4.7 menunjukkan adanya peak berwarna merah yang banyak cocok dengan peak berwarna biru. Sesuai database XRD peak berwarna biru merupakan peak dari rutil. Gambar 4.8 menunjukkan peak berwarna merah banyak yang cocok berwarna biru, hijau dan abu abu, sesuai dengan database XRD peak berwarna hijau merupakan peak dari titanium oxide, dan abu abu merupakan titanium aluminium. Gambar 4.9 menunjukkan peak merah banyak cocok dengan peak hijau dan biru.

#### 4.5 Hasil Scanning Electron Microscope (SEM)

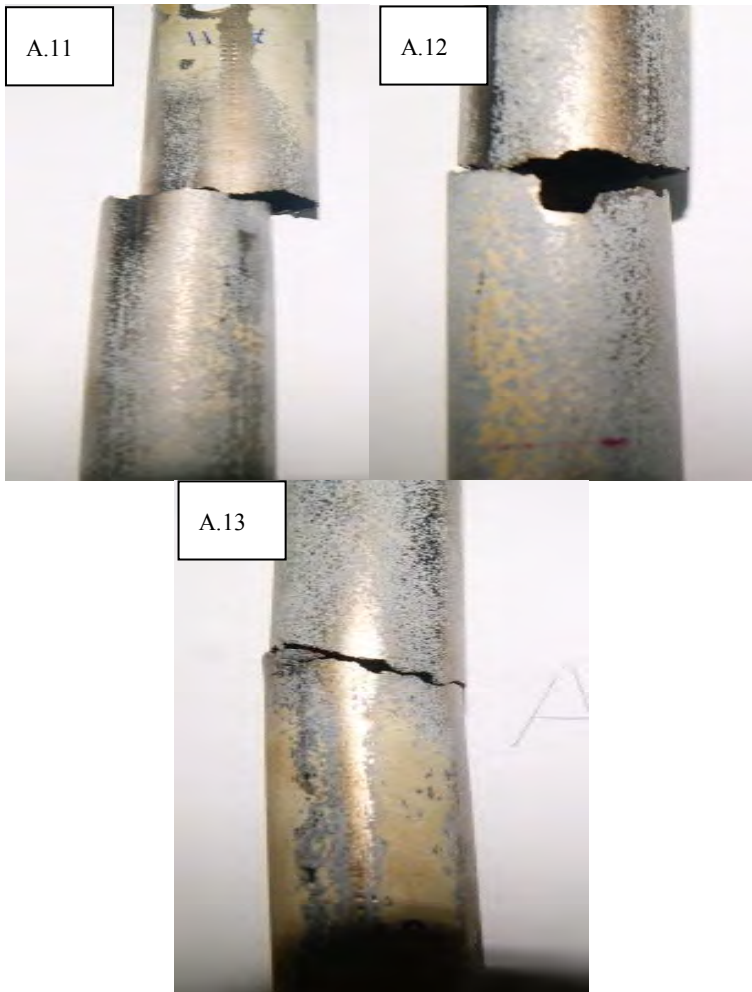
Untuk melihat karakter pola patahan apakah material itu getas atau ulet dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui perbedaan material yang getas dan yang lebih ulet. Pada kasus ini pada proses penggrindingan kami menemukan adanya cacat didalam yang mana berbentuk retakan berlubang. Berikut merupakan hasil fotografer yang kami dapat;



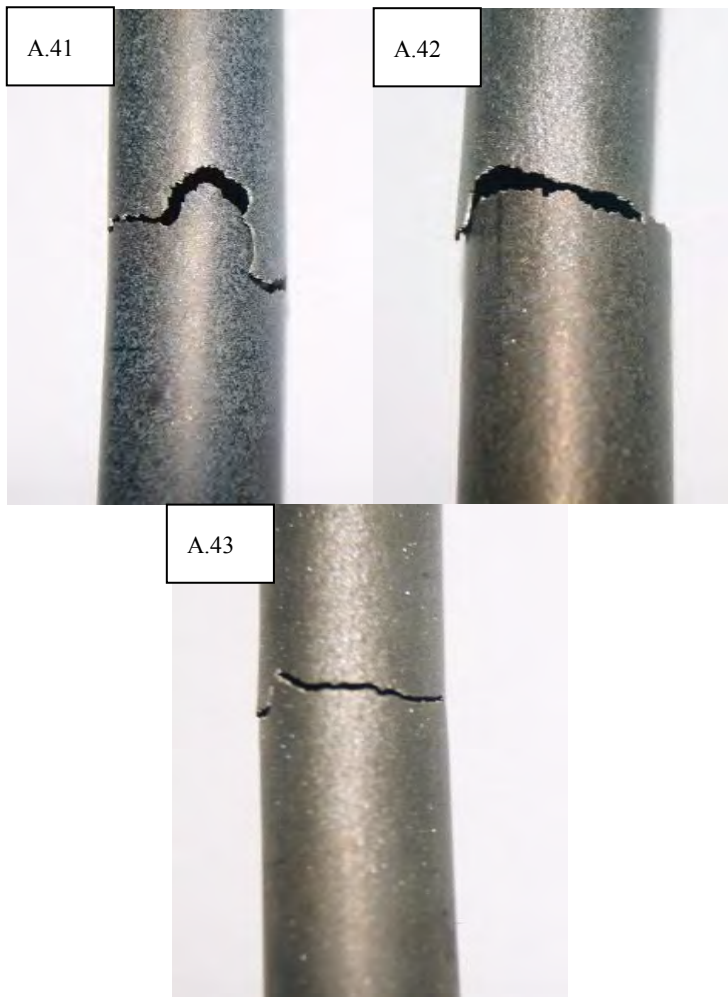
Gambar 4.10 Hasil SEM CP-Ti Grade 2



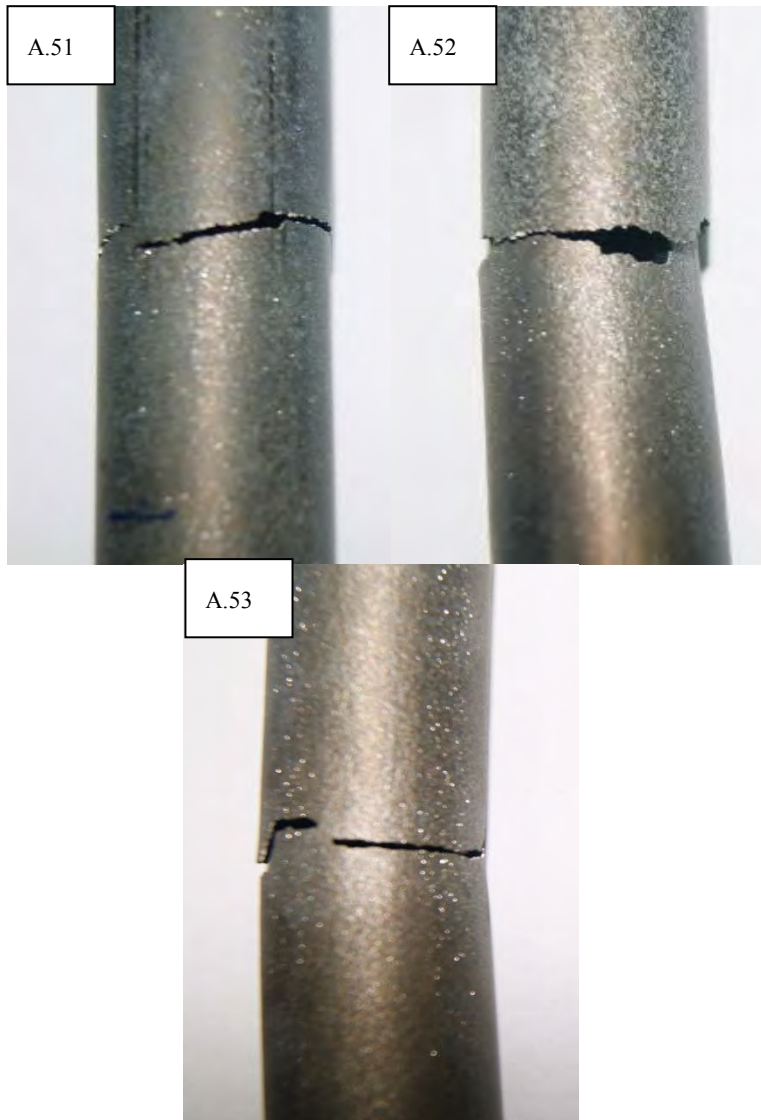
#### 4.6 Hasil Foto Makro Pola Patahan



Gambar 4.11 Foto spesimen dengan perlakuan Annealing setelah uji tarik.



Gambar 4.12 Foto specimen dengan perlakuan Quenching setelah uji tarik



Gambar 4.13 Foto specimen dengan perlakuan Quenching dan stress Relief setelah uji tarik

## **BAB 5**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan data hasil penelitian pada BAB IV maka akan dibuat beberapa analisa pengaruh variasi perlakuan panas pada material CP-Ti Grade 2, dimana analisa tersebut berdasarkan dari data struktur mikro. Selain itu akan dibuat analisa pengaruh adanya perubahan fase yang terjadi setelah proses perlakuan panas terhadap kekuatan dan kekerasan, yang didukung oleh data struktur mikro.

#### **5.1 Pengaruh Variasi Perlakuan terhadap Struktur Mikro**

Gambar struktur mikro material CP-Ti Grade 2 ditampilkan pada gambar 4.1, dimana terlihat bahwa pada material tersebut memiliki struktur mikro Alpha Equiaxed. Dari gambar tersebut, struktur mikro pembentuk matriks terdiri dari Fasa Alpha.

Pada proses annealing dengan temperature 950°C, terlihat perubahan dari struktur mikro CP-Ti Grade 2 yang terdiri dari equiaxed Alpha menjadi Coarse Alpha dan Alpha Lamellar. Dengan pemberian holding time selama 15 menit pada gambar 4.2 terlihat struktur mikro yang terbentuk adalah Coarse Alpha ( $\alpha$ ) dan Alpha Lamellar ( $\alpha + \beta$ ). Alpha yang terbentuk memiliki ukuran butir yang besar dan kasar dan struktur mikro yang berbentuk lamellar yang biasanya terjadi hanya pada Titanium paduan ( $\alpha + \beta$ ). Coarse alpha ditunjukkan pada struktur mikro yang terang. Setelah diuji microhardness, Coarse Alpha memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Sementara alpha Lamellar ditunjukkan pada struktur mikro yang gelap dimana memiliki kemampuan untuk menyerap energy yang diterima oleh material.

Pada proses quenching dengan temperature 950°C kemudian dihold 15 menit, terlihat perubahan dari struktur mikro Grade 2 yang terdiri dari equiaxed alpha menjadi Alpha Lamellar, coarse Alpha Lamellar dan Beta. Beta yang terbentuk akibat ketidak mampuan beta berdifusi menjadi Alpha akibat pendinginan yang cepat, Beta pada gambar 4.3 ditunjukkan dengan bulatan gelap. Alpha Lamellar terjadi akibat Beta tidak dapat berdifusi secara sempurna akibat kurangnya waktu untuk melakukan difusi. Alpha Lamellar sendiri ditunjukkan dengan Lamellar berwarna gelap pada gambar 4.3 sementara Coarse Alpha Lamellar ditunjukkan pada gambar 4.3 dengan Lamellar yang besar.

Pada proses quenching kemudian di stress relief pada temperature 520°C kemudian ditahan 30 menit terlihat perubahan struktur mikro yang terdiri dari equiaxed alpha menjadi Fine Alpha Lamellar, coarse Alpha Lamellar dan Beta. Dimana semakin sedikitnya struktur mikro Beta dan bertambah jumlah struktur mikro Alpha Lamellar dan Coarse Alpha Lamellar dibanding material CP-Ti Grade 2 yang diberi perlakuan quenching saja. Pada gambar 4.4 ditunjukkan Lamellar terang dan besar merupakan Coarse Alpha Lamellar, lamellar sedikit gelap menunjukkan fine Lamellar. Bertambahnya Alpha Lamellar baik fine dan coarse akibat struktur mikro Beta yang tidak stabil memiliki energy untuk berdifusi menjadi fine alpha lamellar, dan fine alpha lamellar kembali berdifusi menjadi coarse alpha lamellar. Fine alpha lamellar memiliki kemampuan untuk menyerap energy lebih baik dibanding struktur mikro lainnya[2].

Tabel 4.1 Hubungan antara struktur mikro terhadap mechanical properties pada Titanium [13].

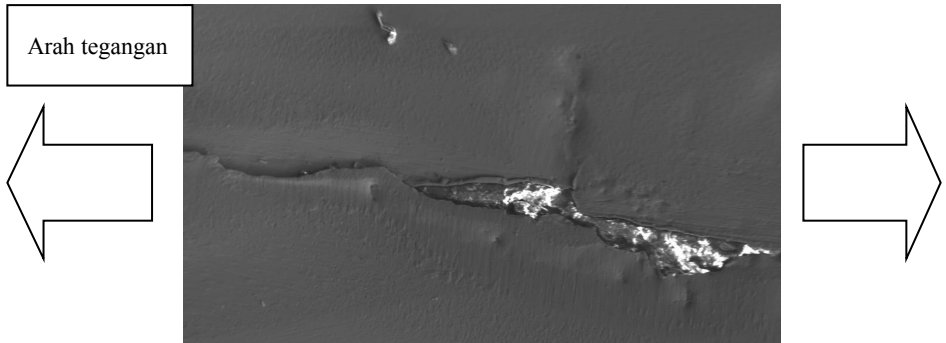
Feature	Enhances	Degrades
Equiaxed $\alpha$	Strength Ductility Fatigue Initiation Resist. Low Cycle Fatigue Resist.	Fracture Toughness Fatigue Crack Growth Resist. Notched Fatigue Resist.
Elongated $\alpha$	Fracture Toughness Notched Fatigue Resist. Fatigue Crack Growth Resist.	Ductility Fatigue Initiation Resist. Low Cycle Fatigue Resist.
Widmanstätten $\alpha$	Fracture Toughness Notched Fatigue Resist. Fatigue Crack Growth Resist. Creep	Ductility Fatigue Initiation Resist. Low Cycle Fatigue Resist. Strength
Bi-Modal $\alpha$	Strength Ductility Fatigue Initiation Resist. Low Cycle Fatigue Resist.	Fatigue Crack Growth Resist. Fracture Toughness
Colony $\alpha$	Fatigue Crack Growth Resist. Fracture Toughness Notched Fatigue Resist.	Strength Ductility Fatigue Initiation Resist. Low Cycle Fatigue Resist.
Secondary $\alpha$	Strength Ductility	Fracture Toughness
Grain shape (elongated)	Fracture Properties Fatigue Crack Growth Resist. Notched Fatigue Resist.	Fatigue Initiation Resist.
Coarse prior $\beta$ grains	Fracture Toughness  Creep	Strength Ductility Low Cycle Fatigue Resist. Fatigue Initiation Resist.
Fine prior $\beta$ grains	Strength Fatigue Initiation Resist. Ductility	Fracture Toughness Notched Fatigue Resist.
Mixed-mode grain size	Strength Fatigue Initiation Resist.	Fracture Toughness
Alpha films	Fatigue Initiation Resist. Notched Fatigue Resist.	Fatigue Crack Growth Resist.
Grain boundary $\alpha$	Fracture Toughness Fatigue Crack Growth Resist. Notched Fatigue Resist.	Ductility Fatigue Initiation Resist. Low Cycle Fatigue Resist.

Resist. = Resistance. (a) These general relationships do not necessarily address specific comparisons between some microstructural features. For example, the fatigue crack growth resistance of bi-modal alpha is generally better than equiaxed alpha, but less than that of recrystallized annealed equiaxed alpha.

## 5.2 Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Kekuatan

Ultimate Strength material hasil perlakuan panas dipengaruhi oleh variasi proses perlakuan panas. Pada gambar 4.6 ditampilkan grafik hubungan variasi perlakuan panas terhadap harga ultimate strength(UTS) yang diperoleh dari material CP-Ti Grade 2 setelah proses Annealing, Quenching dan Quenching dan stress Relief.

Harga UTS rata rata pada proses annealing sebesar 298.944 MPa, disusul proses quenching dan stress relief sebesar 332.682 MPa kemudian disusul nilai terbesar adalah quenching dengan harga 357.741 MPa. Dan ketiga rata rata nilai UTS ini masih dibawah nilai UTS tanpa di heat treatment, sebesar 401.36 MPa. Nilai terbesar pada proses heat treatment adalah Quenching, bila dilihat dari struktur mikro terdapatnya Alpha Lamellar, Coarse Alpha Lamellar dan Beta dimana Alpha Lamellar, Coarse Alpha Lamellar dan beta memiliki kekuatan yang baik dengan ductility yang baik pada temperature. Nilai terendah pada proses heat treatment adalah Annealing , jika dilihat dari struktur mikro yang terdiri dari Coarse alpha dan beta membuat material tersebut getas, tidak menjadikannya kuat. Selain itu dikarenakan pada analisa XRD yang dibahas pada subbab berikutnya, proses *annealing* pada CP-Ti Grade 2 bertransformasi menjadi 100%  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  merupakan produk oksidasi (korosi) dari CP-Ti Grade 2, dimana korosi mempengaruhi penurunan UTS pada material ini.



Gambar 0.1 Cacat dalam dan arah tegangan yang terjadi

Cacat sangat mempengaruhi kemampuan suatu material untuk menerima tegangan, saat kami menggrinding kami menemukan adanya cacat dalam. Cacat dalam inilah menjadi pusat konsentrasi tegangan saat material menerima beban, sehingga material tersebut langsung rusak dibawah tegangan yang seharusnya bisa diterima tanpa patah.

Faktor yang lain adalah ketebalan spesimen berkurang dengan bertambahnya oksidasi yang terjadi pada pipa tersebut. Dari hasil pengujian XRD tampak bahwa oksidasi meningkat pada saat diberikan perlakuan panas. Pemberian lubang pin pada ujung pipa juga berpengaruh pada konsentrasi tegangan saat material menerima beban. Apabila diindikasikan adanya cacat dalam (retak) di daerah tersebut dan dengan adanya pemberian lubang pin, maka keretakan akan semakin membesar atau melebar. Hal ini juga dapat mempengaruhi perubahan nilai kekuatan. Pada saat pengujian kekuatan, lokasi patah spesimen juga ada yang berada di luar gauge length ( dekat lubang pin ).





Gambar 4.2 Alpha Case yang terdapat pada CP-Ti Grade 2

Alpha case merupakan fenomena dimana titanium terkontaminasi Oksigen maupun Nitrogen saat dilakukan perlakuan panas. Gambar 5.2 menunjukkan adanya grain Alpha kaya oksigen yang berwarna terang. Alpha case mempengaruhi nilai kekuatan material dikarenakan menyebabkan material tersebut getas dan rentan menyebabkan *micro cracking*, sehingga nilai UTS turun [14].

### 5.3 Pengaruh variasi perlakuan panas terhadap kekerasan.

Pada gambar 4.5 pada bab sebelumnya ditampilkan grafik hubungan variasi perlakuan panas terhadap harga kekerasan yang diperoleh dari material CP-Ti Grade 2.

Harga kekerasan material CP-Ti grade 2 adalah 207.8 HVN. Dari gambar 4.5 tampak bahwa material CP-Ti Grade 2 mengalami kenaikan harga kekerasan setelah mengalami proses perlakuan panas. Harga kekerasan tertinggi terjadi pada variasi perlakuan panas annealing, nilai rata rata 274.98 HVN dengan nilai paling tinggi 290.2 HVN. Disusul dengan variasi perlakuan

panas Quenching dan stress relief, nilai kekerasan rata rata 268.33 HVN dengan nilai tertinggi 281.23 HVN. Nilai kekerasan paling rendah pada perlakuan panas quenching, nilai kekerasan rata rata 255.99 HVN dengan nilai tertinggi 263 HVN.

Mengenai proses perlakuan panas, pada CP- Ti Grade 2 pada temperature kamar dengan stuktur mikro Alpha dengan struktur kristal Body Center Cubic kemudian dipanaskan hingga temperature diatas beta tensus ( $822^{\circ}\text{C}$ ) yaitu  $950^{\circ}\text{C}$  sehingga berstruktur mikro beta dengan struktur kristal Hexagonal Compact, memiliki pengaruh pada perubahan kekerasan tergantung dari dipanaskan pada nilai temperature dan waktu penahanan[11].

Struktur mikro pada perlakuan *Annealing* terdiri dari Coarse Alpha dan sedikit Beta memiliki kekerasan yang paling tinggi, terlihat dari gambar 4.5 dikarenakan Coarse Alpha terbentuk akibat kandungan oksigen yang tinggi yang membuat material tersebut keras dan getas[2] dan membentuk senyawa baru yaitu Rutile, dimana memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibanding CP-Ti *Grade 2*. Pada proses quenching dengan stress relief memiliki struktur mikro fine lamellar dengan banyak coarse Alpha lamellar lebih keras dibanding proses quenching memiliki struktur mikro terdiri dari sedikit Coarse Alpha Lamellar dan banyak Beta. Beta memiliki sifat ductility yang baik pada temperature kamar [2].



Gambar 0.3 Foto indentasi microhardness pada CP-Ti Grade 2

Pada hasil uji XRD terdapat kandungan unsur interstitial yaitu oksigen. Adanya kandungan unsur oksigen karena pipa kondenser dialiri oleh air laut dan didapatkan setelah dilakukan proses perlakuan panas. Kandungan oksigen berpengaruh terhadap sifat mekanik. Kehadiran kandungan unsur besi (Fe) juga menjadi fakta bahwa mungkin dapat meningkatkan karakteristik mekanik dan kekerasan komersial titanium murni. Menurut standar ASTM, komersial titanium murni memiliki kandungan Fe sebesar  $\leq 0,30$ .

#### 5.4 Pengaruh variasi perlakuan panas terhadap hasil XRD

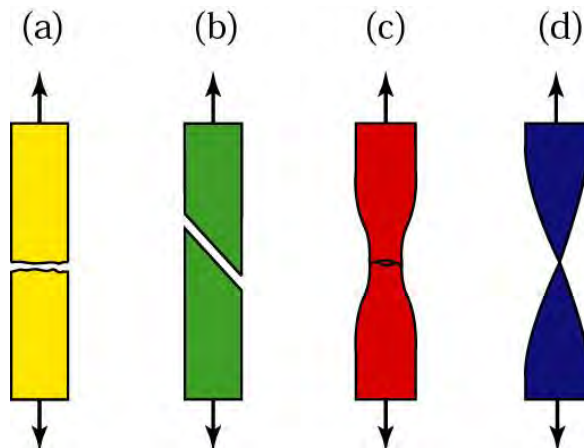
Dari hasil pengujian XRD, terlihat persentase formula yang terkandung pada spesimen *Commercial Pure Titanium* (CP – Ti ) *grade 2* dengan masing – masing perlakuan panas yang berbeda. Pada gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 di bab IV terlihat bahwa persentase formula yang terkandung pada specimen CP-Ti *grade 2* adalah dominan  $\text{TiO}_3$ , Rutile (  $\text{TiO}_2$ ) dan sisanya adalah Ti-  $\alpha$  (Titanium\_Alumunium).

Pada proses perlakuan panas terdapat unsur bebas di udara yaitu oksigen (O).  $\text{TiO}_3$  dan Rutil ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan bentuk oksidasi dari perlakuan panas tersebut. Oksidasi suhu tinggi cenderung terjadi pembentukan  $\text{TiO}_2$  yang dikenal sebagai Rutil dengan struktur kristal berbentuk *tetragonal*. Oksidasi dengan suhu yang lebih rendah cenderung terjadi pembentukan  $\text{TiO}_3$ , anatase atau campuran rutil dan anatase dengan struktur kristal berbentuk *hexagonal*. [4]

Pada proses perlakuan panas *annealing*, persentase formula  $\text{TiO}_2$  adalah 100%. Pada proses perlakuan panas *quenching* dengan media air, persentase formula  $\text{TiO}_3$  adalah 27.2% persentase formula Alumunium Titanium adalah 48.3% dan persentase formula iron oxide ( $\text{FeO}_3$ ) adalah 24.5%. Sedangkan pada proses perlakuan panas *quenching* dengan media air kemudian diikuti dengan *stress-relief* persentase formula  $\text{TiO}_3$  adalah 79% dan persentase formula rutil (  $\text{TiO}_2$ ) adalah 21%.

Komposisi fase paduan CP-Ti setelah perlakuan panas yang berbeda adalah transformasi dari fase  $\alpha$  (lihat gambar. 4.11, 4.12, dan 4.13), dengan adanya puncak di  $35,6^\circ$  dengan sudut  $20^\circ$  pada gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 menunjukkan adanya fasa Beta. Jika dihubungkan dengan struktur mikro pada proses annealing terdapat Alpha Lamellar, dimana alpha lamellar merupakan gabungan dari fase Alpha dan Beta. Pada proses Quenching dan Quenching dengan penambahan Stress Relief terdapat struktur mikro Coarse Alpha Lamellar dan Beta. Puncak di  $35,6^\circ$  menunjukkan terjadi transformasi fase beta yang terbentuk dengan struktur kristal body center cubic.

### 5.5 Pengaruh variasi perlakuan panas terhadap pola patahan



Gambar 0.4 Bentuk pola patahan pada material akibat uji tarik[12].

Gambar 5.1a merupakan bentuk pola patah getas pada *polycrystalline metals*, gambar 5.1b merupakan bentuk pola patah

akibat tegangan geser yang terjadi pada *ductile single crystals*, pada gambar 5.1c merupakan pola patah *ductile cup-and-cone fracture* pada *polycrystalline metals* dan gambar 5.1d merupakan pola patahan ulet sempurna pada *polycrystalline metals*, dengan 100% reduction area.[12]

Pada gambar 4.11, 4.12, 4.13 hampir semua pola patah miring dengan nilai reduction area yang sangat kecil dan relative hamper tidak ada seperti gambar 5.1b. Namun pada gambar 4.11 dengan specimen A11 dan A12, dan gambar 4.13 spesimen A52 bentuk pola patahan lurus seperti pada gambar 5.1a.

Pola patahan miring diakibatkan tegangan geser yang terjadi pada material uji yang ulet juga akibat tipisnya suatu material uji yang getas. Pada kasus ini pola patahan miring akibat tipisnya material uji yang getas sehingga gaya yang terjadi tidak hanya gaya tarik namun juga gaya geser. Pola patahan lurus diakibatkan material uji tarik getas dengan polycrystalline. Patah yang terjadi tidak hanya di gauge length, beberapa specimen uji terjadi di luar gauge length, diakibatkan terdapat cacat dalam seperti gambar 4.10. Cacat dalam pada material uji tarik mengakibatkan konsentrasi tegangan sehingga menginisiasi terjadinya patah sebelum nilai UTS sebenarnya yang mampu didapatkan.

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada proses perlakuan panas *Annealing*, terjadi perubahan dari struktur mikro alpha *equiaxed* menjadi coarse alpha (  $\alpha$  ) plate dan alpha lamellar (  $\alpha + \beta$  ). Nilai kekerasan spesimen CP – Ti *grade 2* mengalami kenaikan setelah diberi proses perlakuan panas dengan nilai kekerasan rata rata 274.98 HVN dengan nilai kekerasan tertinggi 290.2 HVN dan merupakan nilai kekerasan tertinggi dari semua proses perlakuan panas. Tetapi nilai *ultimate tensile strength* ( *UTS* ) spesimen CP – Ti *grade 2* mengalami penurunan nilai kekuatan setelah diberi perlakuan panas *annealing* dengan nilai 298.944 MPa dan merupakan nilai kekuatan terendah dari semua proses perlakuan panas.
2. Pada proses perlakuan panas *quenching*, terjadi perubahan dari struktur mikro alpha *equiaxed* menjadi Alpha Lamellar, coarse Alpha Lamellar daerah terang dan lapisan tipis berwarna hitam atau gelap adalah fase beta (  $\beta$  ). Nilai kekerasan spesimen CP – Ti *grade 2* mengalami kenaikan setelah diberi proses perlakuan panas dengan variasi *quenching* media air dengan nilai 281.23 HVN. Tetapi nilai *ultimate tensile strength* ( *UTS* ) spesimen CP – Ti *grade 2* mengalami penurunan nilai kekuatan setelah diberi perlakuan panas *quenching* media

air dengan nilai 357.741 Mpa dan merupakan nilai kekuatan tertinggi dari semua proses perlakuan panas.

3. Pada proses perlakuan panas *quenching* kemudian diikuti pemberian *stress – relief*, terjadi perubahan struktur mikro alpha equiaxed menjadi Fine Alpha Lamellar, coarse Alpha Lamellar dan Beta. Nilai kekerasan spesimen CP – Ti *grade 2* mengalami kenaikan nilai kekerasan setelah diberi proses perlakuan panas dengan variasi *quenching* media air dengan penambahan *stress-relief* dengan nilai 281.23 HVN. Sedangkan nilai *ultimate tensile strength* ( *UTS* ) spesimen CP – Ti *grade 2* mengalami kenaikan nilai kekuatan setelah diberi perlakuan panas *water quenching* dengan penambahan *stress-relief* dengan nilai 332.682 MPa

## 6.2 Saran

Adapun saran yang didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengoptimalkan penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan spesimen yang masih baru.
2. Menggunakan metode vacuum sealed treatment pada saat heat treatment untuk mengontrol kadar oksigen di dalam dapur sehingga terhindar terjadinya oksidasi pada temperature tinggi.

## LAMPIRAN

Tabel ukuran Microhardness specimen dengan perlakuan  
*Annealing*

No	Kode	Temperatur	Holding Time	Variasi	Titik	Jarak		Diameter	HVN	HVN Rata - Rata
		°C	Menit			X	Y			
1	A11	950°C	15	<i>Annealing</i>	1	0	0	24	315.2	275.54
2					2	2		25.265	290.6	
3					3	4		26.76	260.4	
4					4	6		27.73	241.2	
5					5	8		26	270.3	
6	A12	950°C	15	<i>Annealing</i>	1	0	0	26.19	270.3	283.88
7					2	2		25.505	285.1	
8					3	4		25.565	283.8	
9					4	6		24.705	303.8	
10					5	8		25.9	276.4	
11	A13	950°C	15	<i>Annealing</i>	1	0	0	27.275	249.3	265.54
12					2	2		27.795	240.1	
13					3	4		23.78	327.9	
14					4	6		28.185	233.5	
15					5	8		25.88	276.9	

Tabel ukuran Microhardness specimen dengan perlakuan  
*Quenching media air*

No	Kode	Temperatur	Holding Time	Variasi	Titik	Jarak		Diameter	HVN	HVN Rata - Rata
		°C	Menit			X	Y			
1	A41	950°C	15	<i>Quenching media air</i>	1	0	0	28	238.2	243.36
2					2	2		27.635	242.9	
3					3	4		27.26	249.5	
4					4	6		27.33	248.3	
5					5	8		28	237.9	
6	A42	950°C	15	<i>Quenching media air</i>	1	0	0	25.705	280.8	286.86
7					2	2		25.22	291.5	
8					3	4		25.56	283.7	
9					4	6		26.085	272.6	
10					5	8		24.63	305.7	
11	A43	950°C	15	<i>Quenching media air</i>	1	0	0	27.04	253.6	237.76
12					2	2		28.415	229.6	
13					3	4		27.855	239	
14					4	6		28.955	221.2	
15					5	8		27.485	245.4	

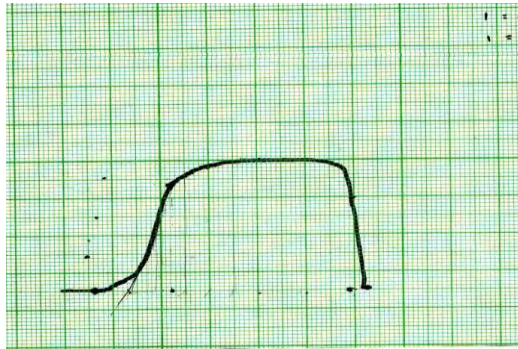


Tabel ukuran Microhardness specimen dengan perlakuan *Quenching* media air kemudian Stress Relief

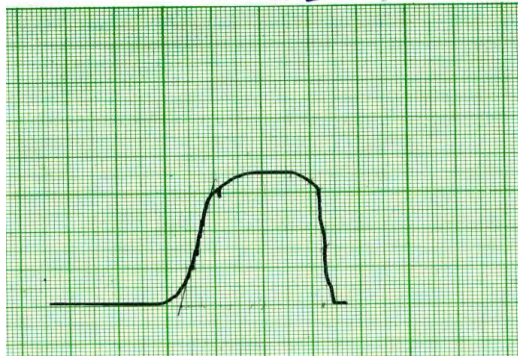
No	Kode	Temperatur	Holding Time	Variasi	Titik	Jarak		Diameter	HVN	HVN Rata - Rata
		°C	Menit			X	Y			
1	A41	950°C	15	<i>Quenching media air</i>	1	0	0	28	238.2	243.36
2					2	2		27.635	242.9	
3					3	4		27.26	249.5	
4					4	6		27.33	248.3	
5					5	8		28	237.9	
6	A42	950°C	15	<i>Quenching media air</i>	1	0	0	25.705	280.8	286.86
7					2	2		25.22	291.5	
8					3	4		25.56	283.7	
9					4	6		26.085	272.6	
10					5	8		24.63	305.7	
11	A43	950°C	15	<i>Quenching media air</i>	1	0	0	27.04	253.6	237.76
12					2	2		28.415	229.6	
13					3	4		27.855	239	
14					4	6		28.955	221.2	
15					5	8		27.485	245.4	

Tabel ukuran nilai UTS dan elongation

Kode	Lo (mm)	Do (mm)	Di (mm)	Ao (mm)	Pu (KN)	LA	DELTA L	Elongation	Elongation rata2	Tegangan	Rata rata tegangan
A00	350.00	25.1	23.50	61.0416	24.50	369.60	19.60	5.6	5.533333333	401.3656261	401.3656261
A01	300.00	25.1	23.50	61.0416	24.50	316.50	16.50	5.5		401.3656261	
A02	300.00	25.1	23.50	61.0416	24.50	316.50	16.50	5.5		401.3656261	
A11	290.00	25.80	23.70	81.60075	24.50	303.00	13.00	4.482758621	2.183138009	300.2423385	298.9444232
A12	286.50	26.00	23.40	100.8254	23.60	287.80	1.30	0.453752182		234.0680027	
A13	310.00	25.40	23.60	69.237	25.10	315.00	5.00	1.612903226		362.5229285	
A41	299.00	25.80	24.20	62.8	28.10	303.00	4.00	1.337792642	2.794924169	447.4522293	357.7414225
A42	298.00	25.60	23.40	84.623	25.10	310.00	12.00	4.026845638		296.6096688	
A43	298.00	25.80	23.90	74.12755	24.40	307.00	9.00	3.020134228		329.1623695	
A51	304.00	25.30	23.20	79.95225	16.00	316.00	12.00	3.947368421	3.302544441	200.1194463	332.6825443
A52	302.00	25.40	24.00	54.2906	15.52	313.00	11.00	3.642384106		285.8690086	
A53	302.00	25.40	24.00	54.2906	27.80	309.00	7.00	2.317880795		512.0591778	



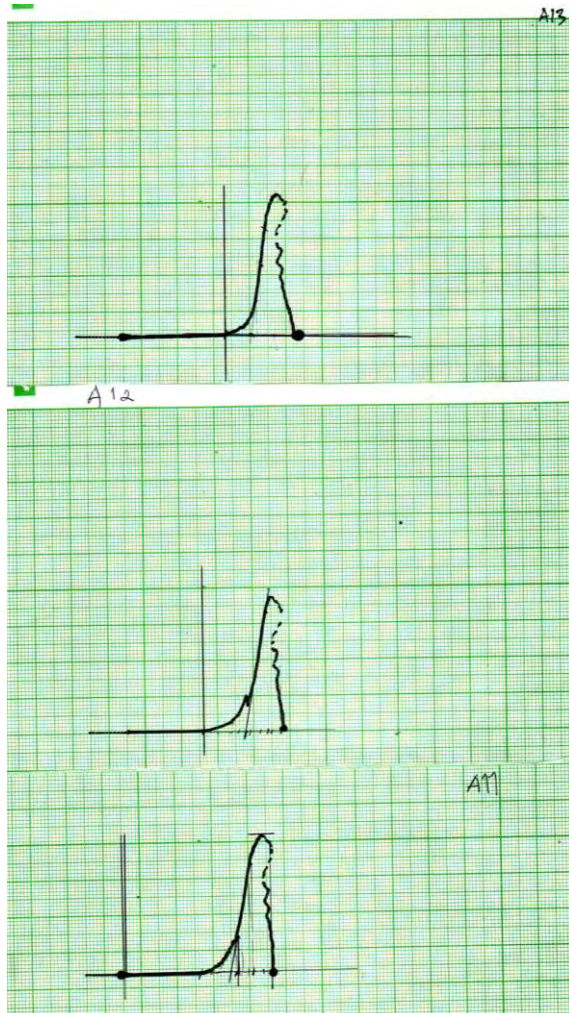
SP 2



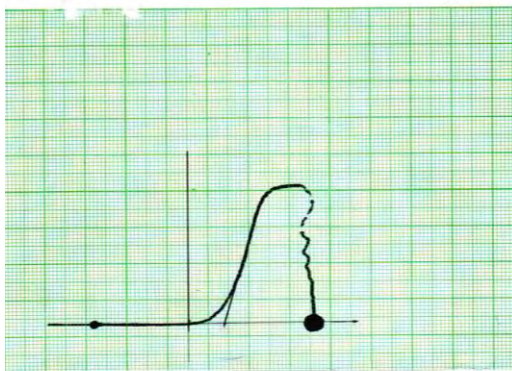
SP 3



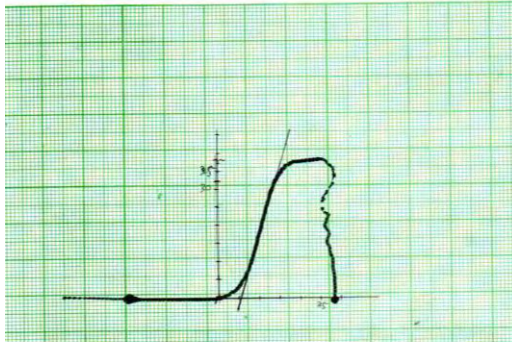
Grafik uji tarik pada specimen tanpa perlakuan panas



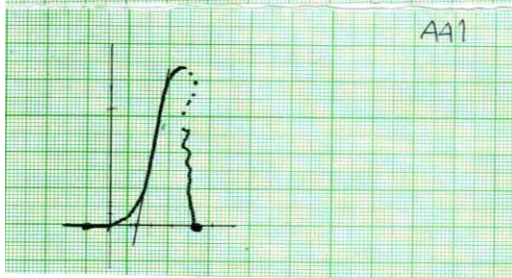
Grafik uji tarik pada specimen dengan perlakuan Annealing



A92



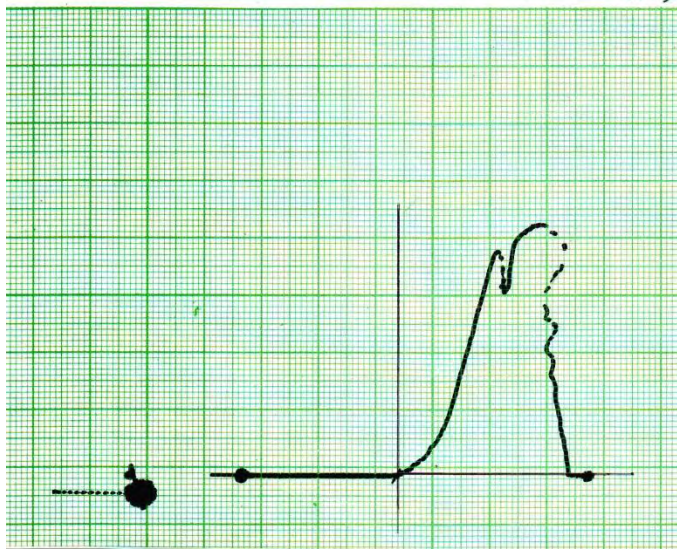
A41



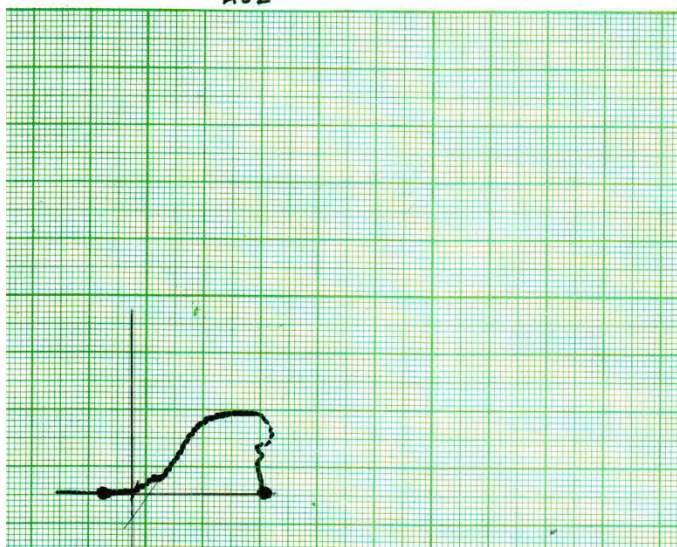
Grafik uji tarik pada specimen perlakuan Quenching media air



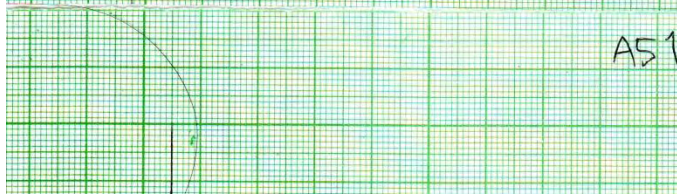
A53



A52



A51



Grafik uji tarik specimen dengan perlakuan Quenching lalu  
stress relief

## DAFTAR PUSTAKA

1. Chun , XU, dan ZHU Wen-feng., 2010. **Transformation Mechanism and Mechanical Properties of Commercially Pure Titanium.** 1. 2162-2167.
2. Manshadi, A. Dehghan, M.H. Reid dan R.J. Dippenaar., 2010. **Effect of Microstructural Morphology on The Mechanical Properties of Titanium Alloys.** 1. Faculty of Engineering, University of Wollongong, Wollongong 2500, NSW Australia.
3. F. X. Gil, D. Rodriguez and J. A. Planell. 1995. **Grain Growth Kinetics of Pure Titanium.** Enginyers Industrials, Universitat Polit&mica de Catahmya. Barcelona, Spain.
4. Lütjering ,Gerd., and James C. Williams. 2007. **Titanium second edition.** New Work. Springer Berlin Heidelberg New York
5. Donachie, Matthew J., 2000. **Titanium: A Technical Guide second edition.** Ohio. ASM International.
6. Joshi, Vydehi Joshi., 2006. **TITANIUM ALLOYS An Atlas of Structures and Fracture Features.** US. CRC Press.
7. JIS Hand Book Vol 6, 2006, Tokyo, Japan.
8. Sieniawski, Jan.,and Waldemar Ziaja. 2013. **Titanium Alloys Advances in Properties Control.** Poland. Intech.
9. Sha , Wei. 2009. **Surface gas nitriding: phase composition and microstructure.** Woodhead Publishing Limited. UK

10. VULCAN ,Andreea Daniela and friends. 2012. **X-RAY Diffraction of A Ti-Ta-Nb Alloy Proceed by Severe Plastic Deformation**. Romania
11. Sicknan soares da Rocha, Gelson Luis Adabo, Guilherme Elias Pessanha Henriques, dan Mauro Antonio de Arruda Nobilo. September 2004. **Vickers Hardness of Cast Commercially Pure Titanium and Ti-6Al-4V Alloy submitted to Heat Treatments**. Dept. of Dental Material and Prosthodontics, sao Paulu State University. Brazil
12. Soeharto. **Tensile Response PPT**. (2011). Surabaya: ITS.
13. Boyer Rodney,Welsch Gerhard, dan Codings E.W. June 1994. **Materials Properties Handbook: Titanium Alloys**. Boeing Commercial Airplane Company Gerhard Welsch, Case Western Reserve University, Battelle Memorial Institute (Columbus), Printed in the United States of America.
14. Corona , Aldo, dan Blair London., 2011. **Characterization between Relationship The Microstructure and Tensile Strength of Annealed Ti-6Al-4V** . California Polytechnic State University, San Luis Obispo.



## BIODATA PENULIS



Safira Dina Nadila, lahir di Sidoarjo 7 April 1993. Merupakan putri satu satunya dari pasangan Ismail dan Aulah. Memiliki 2 saudara yaitu Akbar, yang lahir diwaktu yang sama dan Bukhori yang memiliki selisih umur 5 tahun dibawah penulis. Kami tinggal dengan nyaman di Bekasi,

Mulai merantau saat mengenyam pendidikan menengah pertama dan akhir di sebuah pesantren di Surakarta, PPMI Assalaam. Dan tahun 2010 melanjutkan pendidikan sarjana Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember .

Selama kuliah aktif di HMM dan Ash Shaff menjabat sebagai Sekdept Kesma dan Ketua BSO Keputrian. Mencintai traveling, membaca, berenang, juga menulis novel. Jika ingin mengetahui informasi lebeh detail tentang penulis silahkan hubungi [nadila.ismail@gmail.com](mailto:nadila.ismail@gmail.com).